



**EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ELECCIÓN DE  
LA BICICLETA COMO MODO DE TRANSPORTE EN BARRANQUILLA  
INCLUYENDO VARIABLES LATENTES**

**Sebastian de Jesús Estrada Contreras**

**Universidad de la Costa, CUC**

**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental**

**Ingeniería Civil**

**Barranquilla**

**2018**

**EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ELECCIÓN DE  
LA BICICLETA COMO MODO DE TRANSPORTE EN BARRANQUILLA  
INCLUYENDO VARIABLES LATENTES**

**Sebastian de Jesús Estrada Contreras**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero civil**

**Tutor:**

**MSc. Andrea S. Arévalo Támara**

**Universidad de la Costa, CUC**

**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental**

**Ingeniería Civil**

**Barranquilla**

**2018**

**Dedicatoria**

A mis padres, Rocío y Alexander, y a mi hermana, Vianny.

### **Agradecimientos**

Agradecimientos especiales a la Ing. Andrea Arévalo Támara, tutor del trabajo de grado, quien compartió su conocimiento, energía y tiempo para orientarme en la realización de esta investigación y fue un gran apoyo para superar las dificultades que se presentaron.

Al Ing. Mauricio Orozco Fontalvo, cotutor del trabajo de grado, cuya colaboración fue importante para el correcto desarrollo del presente trabajo.

### Resumen

La promoción de la bicicleta como modo de transporte urbano ha surgido como una estrategia para pacificar la movilidad en las ciudades, disminuir la huella de carbono, reducir los niveles de contaminación y afianzar los estilos de vida sostenible. Entender claramente los factores claves que influyen en la elección de la bicicleta es esencial para desarrollar políticas efectivas en pro de incentivar el uso de este modo de transporte. En el presente trabajo se usó un modelo integrado de elección y variables latentes con enfoque secuencial, con el fin de determinar los factores que influyen en la elección de la bicicleta. A través de una encuesta de preferencias declaradas aplicada en la ciudad de Barranquilla, al norte de Colombia, se obtuvo información socioeconómica, así como de las actitudes, percepciones y preferencias con respecto al uso de la bicicleta. Se realizó un análisis factorial y se extrajeron seis variables latentes (preocupación por la seguridad, deseo de comodidad, deseo por economía, conciencia ambiental, percepción de los viajes en bicicleta y disposición a manejar bicicleta). Posteriormente un modelo MIMIC fue usado para estimar las ecuaciones estructurales de las variables latentes. Los resultados indican que los factores que influyen en la elección son sexo, nivel de tráfico, disponibilidad de bicicleta, pendiente, temperatura, percepción de los viajes en bicicleta, deseo por economía, y que la infraestructura tipo ciclobanda, la cual es la existente en la ciudad, no es atractiva cuando el nivel de tráfico es alto, lo que indica que las medidas tomadas hasta ahora han resultado llamativas para los ciudadanos.

**Palabras clave:** variables latentes, transporte activo, bicicleta, percepciones, modelo integrado de elección, estimación secuencial, análisis factorial, modelo MIMIC.

### Abstract

Promotion of urban cycling has emerged as a strategy for improving mobility in cities, reducing the carbon footprint, decreasing pollution levels and consolidating sustainable lifestyles. A clear understanding of the key factors influencing the individual bicycle choosing is essential for developing effective policies towards encouraging the use of this mode of transportation. On the present work an integrated choice and latent variable model with sequential estimation approach was used to determine the factors that influence on choosing the bicycle as mode of transportation. Through a stated preference survey, applied in the city of Barranquilla, northern Colombia, individual information about socioeconomic data, attitudes, perceptions and preferences towards cycling, was captured. An exploratory and confirmatory factor analysis were conducted, and six latent variables were extracted (safety awareness, desire for commodity, desire for economy, environmental awareness, perception towards bicycling and willingness to use bicycle). Lately, a MIMIC model was used to estimate the structural equations of the latent variables. Overall, the results show that the factors influencing the choosing of the bicycle in Barranquilla are: sex, access to a bicycle, the slope, traffic level, temperature, the existence and type of infrastructure, perception towards bicycling, desire for economy and environmental awareness. Subsequently, results indicate that the non-segregated infrastructure, which is the one existent in the city, might not be very attractive to people.

**Keywords:** latent variables, active transportation, bicycle, perceptions, integrated choice and latent variable model, sequential estimation, factor analysis. MIMIC model.

## Contenido

Resumen.....	5
Abstract .....	6
Índice de figuras.....	9
Índice de tablas.....	10
Introducción .....	11
1.    Objetivos, alcance y contribución.....	13
1.1.  Objetivo general .....	13
1.2.  Objetivos específicos.....	13
1.3.  Alcance.....	14
1.4.  Contribución.....	14
2.    Planteamiento del problema.....	15
3.    Estado del arte.....	17
4.    Marco teórico .....	25
4.1.  Bicicleta.....	25
4.2.  Infraestructura urbana para bicicletas .....	27
4.3.  Variables latentes .....	29
4.4.  Modelos de ecuaciones estructurales .....	31
4.5.  Análisis factorial .....	35
4.6.  Modelos integrados de elección y variables latentes .....	37
4.6.1.  Estimación secuencial .....	39
4.6.2.  Estimación simultánea.....	39
4.7.  Nivel de agregación en los modelos.....	40
5.    Marco legal .....	42
5.1.  Contexto internacional .....	42
5.2.  Contexto nacional.....	42
5.3.  Contexto local .....	44
6.    Marco metodológico .....	48
6.1.  Formulación, hipótesis y revisión literaria.....	48
6.2.  Diseño y aplicación de la encuesta.....	48
6.2.1.  Tipo de encuesta .....	49
6.2.2.  Estructura de la encuesta .....	50

6.2.3. Tamaño de la muestra.....	58
6.3. Análisis de datos y modelación.....	60
7. Análisis estadístico.....	63
7.1. Características sociodemográficas .....	63
7.2. Características de viaje.....	66
7.3. Percepción acerca de la bicicleta.....	68
7.4. Preferencias con respecto al ciclismo.....	71
8. Resultados de modelación.....	74
8.1. Modelo EFA.....	74
8.2. Modelo CFA.....	79
8.3. Modelo MIMIC .....	84
8.4. Modelo ICLV .....	89
9. Conclusiones .....	94
10. Recomendaciones .....	97
Referencias.....	99
Anexos.....	119



### Lista de figuras

Figura 1. Bicicleta .....	25
Figura 2. Velocidades promedio de varios modos de transporte urbano (Bogotá). .....	26
Figura 3. Marco de los modelos de variables latentes .....	31
Figura 4. Estructura de un MES.....	32
Figura 5. Diagramas de camino para un CFA y un EFA. ....	36
Figura 6. Visualización de los escenarios en la encuesta.....	58
Figura 7. Esquema del modelo propuesto .....	61
Figura 8. Rango de edad de los encuestados.....	63
Figura 9. Sexo los encuestados .....	63
Figura 10. Estrato de los encuestados .....	63
Figura 11. Nivel académico de los encuestados.....	63
Figura 12. Nivel de ingreso de los encuestados .....	64
Figura 13. Ocupación de los encuestados .....	64
Figura 14. Acceso a un auto y a una bicicleta en el hogar, y tenencia de licencia de conducir.....	64
Figura 15. Frecuencia de ejercicio .....	65
Figura 16. Frecuencia de uso de la bicicleta .....	65
Figura 17. Uso más frecuente de la bicicleta .....	66
Figura 18. Modo de transporte más usado .....	67
Figura 19. Tiempo promedio de viaje .....	67
Figura 20. Solución estandarizada del CFA.....	82
Figura 21. Solución estandarizada del modelo MIMIC .....	87

**Lista de tablas**

Tabla 1. Modalidades de vías ciclistas.....	27
Tabla 2. Tipos de vías ciclo-adaptadas .....	27
Tabla 3. Tipos de modelos de variables latentes.....	29
Tabla 4. Niveles de agregación en la elección de la bicicleta.....	41
Tabla 5. Variables latentes y situaciones planteadas .....	53
Tabla 6. Escala de medición adoptada .....	55
Tabla 7. Factores y niveles definidos.....	56
Tabla 8. Escenarios generados .....	57
Tabla 9. Resultados generales de la segunda parte de la encuesta.....	68
Tabla 10. Resultados del logit binario.....	72
Tabla 11. Resultados del primer modelo EFA .....	74
Tabla 12. Modelos EFA realizados .....	76
Tabla 13. Índices de ajuste para los modelos EFA .....	77
Tabla 14. Resultados del cuarto modelo EFA.....	77
Tabla 15. Factores latentes definidos a partir del EFA .....	78
Tabla 16. Modelos CFA realizados.....	79
Tabla 17. Índices de ajuste para los modelos CFA .....	81
Tabla 18. Parámetros estimados del modelo CFA .....	83
Tabla 19. Variables usadas en la modelación .....	84
Tabla 20. Modelos MIMIC realizados .....	85
Tabla 21. Índices de ajuste para los modelos MIMIC .....	86
Tabla 22. Parámetros de regresión para las variables latentes .....	88
Tabla 23. Resultados del modelo sin variables latentes .....	90
Tabla 24. Resultados del modelo incluyendo variables latentes.....	91
Tabla 25. Índices de ajuste para los modelos ICLV.....	93

## Introducción

En los últimos años, ha tomado fuerza el incentivo del uso de los llamados “modos alternativos” de transporte como solución a los problemas de movilidad y a sus externalidades. Entre estos modos podemos encontrar la caminata y la bicicleta. En general, estos modos ofrecen economía, versatilidad, ocupan menos espacio en la vía (Arbeláez-Arenas, Córdoba-Maquilón, & Sarmiento-Ordosgoitia, 2017), son amigables con el medio ambiente (Teschke, Reynolds, Ries, Gouge, & Winters, 2012) y generan beneficios para salud individual y la salud pública (Griffin & Jiao, 2015), lo que los vuelve una opción atractiva para las ciudades.

A pesar de los beneficios que traen estos modos, en Barranquilla estos no cuentan con la infraestructura adecuada y la planeación no ha sido óptima, lo que se ve reflejado en la discontinuidad de andenes, parqueaderos en andenes, falta de conectividad entre ciclovías, entre otras. Además, en la mayoría de los nuevos proyectos viales, la infraestructura para bicicletas ha sido dejada de lado y no se han habilitado carriles de ningún tipo para las bicicletas.

Para poder realizar una exitosa promoción de los modos alternativos de transporte, desde luego, se debe garantizar una infraestructura apropiada, pero también es importante entender cuáles son los factores que afectan en que un individuo elija usar uno de estos modos. Con base en lo anterior, existe una extensa literatura, la cual resalta que, las percepciones y las valoraciones de los individuos juegan un rol definitivo en el proceso de elección de estos modos de transporte, y llegan a ser más importantes que los factores clásicos como el tiempo de viaje y los costos. En el caso particular de la bicicleta existen tres tipos de factores que influyen en su elección: las percepciones, las características socioeconómicas y las condiciones físico-ambientales (Fernández-Heredia, Monzón, & Jara-Díaz, 2014; Frank, Bradley, Kavage, Chapman, & Lawton, 2007; Fu & Farber, 2017; Ma & Dill, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se evalúan los factores influyentes en la elección de la bicicleta usando como población a los habitantes de la ciudad de Barranquilla. Para la obtención de los datos se diseñó una encuesta de preferencias declaradas específicamente para los habitantes de Barranquilla, en la cual se usaron diferentes métodos para la obtención de la información necesaria. Para análisis de los datos se usó un modelo integrado de elección y variables latentes con estimación secuencial; estos tipos de modelos permiten la inclusión y el manejo de factores actitudinales como variables latentes (ICLV) (Vij & Walker, 2016). La estimación secuencial se refiere a una serie de pasos a seguir para el desarrollo del modelo, en orden estos son: análisis factorial exploratorio (EFA), análisis factorial confirmatorio (CFA), modelo de ecuaciones estructurales (MES) – particularmente el caso de múltiples indicadores y múltiples causas independientes (MIMIC) – y, por último, el modelo de elección.

El presente documento se divide en 10 capítulos: el capítulo 1 da cuenta de los objetivos y el alcance del estudio, el capítulo 2 presenta una descripción detallada del problema, los capítulos 3, 4, 5 y 6, son estado del arte, y los marcos teórico, legal y metodológico respectivamente, los cuales representan las bases del diseño de la investigación, los capítulos 7 y 8 contienen los análisis estadísticos y la modelación de los datos, por último, los capítulos 9 y 10 presentan, respectivamente, las conclusiones del estudio y las recomendaciones para investigaciones futuras.

## **1. Objetivos, alcance y contribución**

### **1.1. Objetivo general**

- ✚ Evaluar la elección de la bicicleta como modo de transporte en el distrito de Barranquilla utilizando variables latentes.

### **1.2. Objetivos específicos**

- ✚ Realizar el estado del arte sobre la elección de la bicicleta como modo de transporte, las metodologías usadas para evaluar este aspecto y la inclusión de variables latentes en este tipo de problemas.
- ✚ Diseñar una encuesta dirigida a los ciudadanos del distrito de Barranquilla, con el fin de evaluar los factores que influyen en la elección de la bicicleta como modo de transporte, usando variables latentes.
- ✚ Aplicar la encuesta a una muestra representativa de la población de Barranquilla en puntos estratégicos de la ciudad.
- ✚ Realizar un análisis estadístico detallado a partir de los resultados obtenidos a través de la encuesta, utilizando modelos de ecuaciones estructurales.
- ✚ Ejecutar un análisis sobre los factores que influyen en la elección de la bicicleta como modo de transporte.
- ✚ Elaborar un documento final en donde se expongan los resultados, la exploración y las respectivas recomendaciones y conclusiones acerca del tema.

### **1.3. Alcance**

El alcance del trabajo se remite a la construcción de un modelo integrado de elección y variables latentes con estimación secuencial, con el fin de explicar los factores más influyentes en la elección de la bicicleta como opción de viaje, por parte de ciudadanos del distrito de Barranquilla, a partir de variables sociodemográficas de los individuos, características de viaje, sus percepciones y factores ambientales.

### **1.4. Contribución**

El presente trabajo se ratifica como un estudio exploratorio sobre los factores que influyen en la elección de la bicicleta como modo de transporte en los habitantes de Barranquilla *en aras* de cooperar con la construcción de las bases para la generación de políticas, toma de decisiones y de una planeación ciclo-inclusiva.

## 2. Planteamiento del problema

El crecimiento poblacional en las ciudades y la perenne necesidad de transportarse de los individuos son factores que contribuyen al crecimiento de la tasa de motorización. Lo anterior conlleva al colapso de la movilidad urbana y esto va de la mano al deterioro de la calidad del aire. Las emisiones generadas por el parque automotor son consideradas como la mayor fuente de polución aérea en las zonas urbanas (Mraihi *et al.*, 2015), las cuales, son causantes del aumento de la morbilidad (Batterman *et al.*, 2014) y se les atribuyen aproximadamente 3.7 millones de muertes al año (OMS, 2014). El distrito de Barranquilla es un ejemplo de cómo el crecimiento del parque automotor ha dificultado la movilidad y ha contribuido al deterioro de la calidad del aire, especialmente es los anillos viales y vías arteriales.

Para febrero de 2018, Barranquilla contaba con un parque automotor de 179.060 (el 81,1% son vehículos y motocicletas particulares) (SDTSV, 2018), el cual circula por vías que generalmente cuentan con una calzada, superando así la capacidad y nivel de servicio de estas, provocando congestiones y retrasos en la circulación. Para contrarrestar estas problemáticas la ciudad ha desarrollado medidas como la adopción de pico y placa en algunos sectores y orientadores de movilidad (SDTSV, 2017), las cuales han funcionado débilmente. Por otro lado, la FDN concluyó que la competitividad en Barranquilla se ve afectada por los complejos problemas de movilidad que existen en la ciudad.

Por lo anterior, se ha vuelto primordial definir nuevas y mejores alternativas de solución para estos problemas. En las últimas décadas, la bicicleta ha surgido como parte de la solución para estos problemas, ya que, debido a sus características, es un vehículo altamente competitivo en entornos urbanos. Manejar bicicleta es saludable, así lo concluyen un creciente número de estudios científicos haciendo énfasis en los impactos de la bicicleta en los niveles de actividad

física, tasas de obesidad, salud cardiovascular y morbilidad. Muchos gobiernos y agencias de salud pública apoyan a la bicicleta como medio para mejorar la salud individual, así como para reducir la polución aérea, la huella de carbono, congestión, ruido, peligros relacionados con el tráfico y otros impactos negativos generados por el uso del carro (Pucher, Dill, & Handy, 2010).

El distrito de Barranquilla cuenta con políticas que sugieren la inclusión y la promoción del uso de la bicicleta. En 2015 se implementó en la ciudad un sistema de bicicletas públicas completamente gratuito, llamado “SIBAQ” que contaba con 7.5 kilómetros de ciclobandas, tres estaciones y 49 bicicletas, en el Centro-Norte Histórico de la ciudad. Sin embargo, el sistema dejó de funcionar a mediados de 2016 y entró a funcionar parcialmente a finales del mismo año.

Adicionalmente, el Ministerio de Transporte en su búsqueda por convertir la bicicleta en una verdadera alternativa de transporte no motorizado y lograr una reglamentación concertada de la ley sobre el uso de la bicicleta en Colombia, en 2016 expidió la ley 1811 a través de la cual “se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional”, la cual tiene como objetivos incrementar el número de viajes en bicicleta brindando beneficios por ir al trabajo en bicicleta, avanzar en la mitigación del impacto ambiental que produce el tránsito automotor y mejorar la movilidad urbana.

Si hoy en día se conocen a profundidad sobre los beneficios que genera el uso de la bicicleta, existen beneficios laborales por su uso, infraestructura y un sistema público de bicicletas compartidas en la ciudad; ¿Qué factores influyen para que los habitantes de Barranquilla no usen la bicicleta como modo de transporte para realizar viajes? ¿Que se debería garantizar para fomentar el uso de la bicicleta en el distrito?



### 3. Estado del arte

La elección de la bicicleta como modo de transporte y el comportamiento general de los ciclistas, están fuertemente influenciados por factores relacionados con el ambiente, la infraestructura, las características sociodemográficas (factores objetivos) y, actitudes, percepciones y preferencias individuales (factores subjetivos). Debido a esta influencia de múltiples factores, el comportamiento de los ciclistas suele ser complejo y difícil de predecir.

Generalmente, los factores sociodemográficos como el sexo, edad, nivel de educación, nivel de ingresos, entre otros, son determinantes en la elección de la bicicleta, sin embargo, no siempre muestran resultados convergentes al analizar diferentes estudios. La elección de la bicicleta es muy sensible a factores ambientales como el clima y la topografía. Otros parámetros como el tiempo de viaje, la existencia y el tipo de infraestructura, el volumen de tráfico vehicular y facilidades adicionales tienen una evidente relación con el uso de la bicicleta (Fernández-Heredia *et al.*, 2014; Fu & Farber, 2017).

A parte de los factores sociodemográficos y los factores físico-ambientales, la literatura sugiere que los factores actitudinales tienen el mismo o un mayor nivel de importancia al estudiar la elección y el uso de la bicicleta, debido a esto se hace necesario evaluar factores que no pueden ser medidos u observados directamente como las emociones, sentimientos, actitudes y percepciones de los ciclistas (Fernández-Heredia *et al.*, 2014). Los factores clásicos que determinan el comportamiento de los usuarios del transporte, como los costos y el tiempo, no son tan influyentes cuando se trata del uso de la bicicleta, al ser comparados con los factores actitudinales, que han ganado importancia en la correcta caracterización del comportamiento de los ciclistas (Debruijn *et al.*, 2005; Eash, 1999; Eriksson & Forward, 2011; Pinjari *et al.*, 2008). Sin embargo, a pesar de la importancia de los factores actitudinales y de que la literatura ha

mostrado que deben ser tenidos en cuenta, aún existe una importante cantidad de estudios en los que estos no han sido incluidos en los modelos de elección (Barnes & Krizek, 2005; Ben-Akiva *et al.*, 2002; Golob, 2003).

Los factores actitudinales pueden ser estudiados e incluidos en los modelos a través de variables latentes, las cuales permiten la incorporación de teorías conductuales dentro del marco empleado por los modelos tradicionales de elección. Generalmente, a estos modelos se le conocen como modelos integrados de elección y variables latentes (Vij & Walker, 2016). Este tipo de modelos fueron propuestos dos décadas atrás por McFadden (1986) y Train *et al.* (1987), y fueron popularizados por las investigaciones hechas por Walker (2001), Ashok *et al.* (2002) y Ben-Akiva *et al.* (2002). De acuerdo con Yáñez *et al.* (2010) los modelos de elección integrada y variables latentes tienen mejor performance que los modelos tradicionales de logit mixto que no incluyen variables latentes. En el contexto de transporte, este tipo de modelos han sido aplicados en estudios relacionados con elección modal (Paulssen *et al.*, 2014), elección de rutas (Bhat *et al.*, 2015), propiedad de carro (Daziano & Bolduc, 2011), hora de salida (Thorhauge *et al.*, 2015), transporte de carga (Bergantino *et al.*, 2013), etc.

En el caso puntual de las bicicletas, la incorporación de variables latentes en modelos de elección ha incrementado en la última década y se han convertido en el núcleo de los modelos de elección de bicicletas. Según Muñoz *et al.* (2016), la evolución de la incorporación de las variables latentes en la elección de la bicicleta se puede dividir en tres etapas: temprana, intermedia y tardía. La etapa temprana comenzó en la segunda mitad de la década de los 90, y son destacables los estudios de Noland & Kunreuther (1995), Taylor & Mahmassani (1996) y Katz (1997), los cuales consideraron factores actitudinales como el peligro y la comodidad, y las incluyeron en la modelación. Sin embargo, en esta etapa no fueron construidas variables latentes

y las variables objetivas como el tiempo, tipo de infraestructura y características ambientales representaron el eje central de los estudios. La etapa intermedia comenzó alrededor de 2005 y se mantiene hasta el día de hoy, y se caracteriza por la construcción de variables latentes y la extensa evaluación de las características ambientales. Algunos estudios en esta etapa usaron modelos teóricos para la construcción de las variables latentes, por ejemplo, la teoría del comportamiento planeado (TCP) fue usada por Debruijn *et al.* (2005), Heinen *et al.* (2011) y Muñoz *et al.* (2013) para explicar el uso de la bicicleta como transporte. Por otro lado, Handy & Xing (2011) y Titze *et al.* (2008) aplicaron un modelo socio-ecológico para encontrar la relación entre el uso de la bicicleta y variables latentes a nivel personal, social y de infraestructura; y, este mismo enfoque fue usado para estimar la demanda entre estudiantes universitarios (Titze, Stronegger, Janschitz, & Oja, 2007), de educación media (Emond & Handy, 2012) y de educación primaria (Aarts, Mathijssen, van Oers, & Schuit, 2013). En esta etapa es notable la gran atención que se le prestó a las características ambientales y de infraestructura, estudios como los de Moudon *et al.* (2005), Ma & Dill (2015), Frank *et al.* (2007), Titze *et al.* (2008) y Muhs & Clifton (2014) concluyeron que estas características no son tan influyentes en la elección de la bicicleta en comparación con las variables subjetivas y que tal vez solo sean significativas cuando influyen en las percepciones. En contraste a lo anterior, se ha concluido que las facilidades relacionadas con el trabajo son aparentemente influyentes en la elección de la bicicleta (Buehler, 2012; Hamre & Buehler, 2014; Heinen, Maat, & van Wee, 2013). La etapa tardía se caracteriza por considerar a las variables latentes como el núcleo de los modelos de elección y por el extenso uso de modelos de elección discreta. Sigurdardottir *et al.* (2013) definieron variables latentes de carácter social y psicológico a través un modelo de múltiples indicadores y múltiples causas, y las relacionó con la intención latente de usar la bicicleta en

adolescentes por medio de ecuaciones estructurales. Kamargianni & Polydoropoulou (2013) produjeron el primer modelo de elección integrada y variables latentes que incluyó variables latentes afectando la utilidad de la bicicleta, siendo esta utilidad una función de un conjunto de variables explicativas conformado por variables objetivas (tiempo de viaje y costos) y subjetivas. Habib *et al.* (2014) presentaron un modelo econométrico que integró posesión de bicicleta, uso de la bicicleta y variables latentes como la preocupación por la seguridad y la comodidad. Maldonado-Hinarejos *et al.* (2014) y Fernández-Heredia *et al.* (2014) usaron la técnica de estimación secuencial para desarrollar un modelo de elección integrada y variables latentes.

Para la evaluación de las variables latentes en la elección de la bicicleta, se han usado diferentes modelos estadísticos, desde los más simples hasta complejos modelos de elección discreta y de elección híbrida, los cuales generalmente han considerado como variable dependiente el modo de transporte elegido para ir al trabajo, la elección de la bicicleta o partición modal de ciclistas (Muñoz *et al.*, 2016). Entre estos modelos podemos encontrar: regresión lineal (Parkin *et al.*, 2007), logit multinomial (Akar & Clifton, 2009), logit anidado (Rodríguez & Joo, 2004), logit binario (Handy & Xing, 2011), logit mixto (Maldonado-Hinarejos *et al.*, 2014), logit-Kernel (Kamargianni & Polydoropoulou, 2013), probit (Roorda *et al.*, 2009), probit-Kernel (Habib *et al.*, 2014) y ecuaciones estructurales (Sigurdardottir *et al.*, 2013).

Los modelos ecuaciones estructurales (MES) han sido ampliamente usados para la evaluación de las relaciones entre variables latentes y para la modelación de su efecto en variables objetivas (Sadia, Bekhor, & Polus, 2017). Los MES son un método relativamente nuevo. Tiene sus raíces en la década de los 70s y la mayoría de sus aplicaciones han sido en psicología, sociología, biología, educación, política e investigación de mercados (Golob, 2003). Las aplicaciones en investigaciones sobre los comportamientos de viaje datan de los 80s con los

estudios de Lyon (1981) y Allaman *et al.*, (1982). A la fecha se han usado en una gran variedad de modelos, por ejemplo, para analizar la magnitud de los accidentes de tráfico (Lee, Chung, & Son, 2008), búsqueda de sensaciones y comportamientos arriesgados (Scott-Parker, Watson, King, & Hyde, 2013) y la distracción de conductores (H.-Y. W. Chen & Donmez, 2016).

Se ha reportado que las ecuaciones estructurales se desempeñan mejor para la para la identificación y el análisis de variables latentes relacionadas con actitudes de individuos en comparación con los modelos logit (Outwater *et al.*, 2003), los cuales han sido los más utilizados para estudiar los comportamientos de viaje (Hagenauer & Helbih, 2017).

Específicamente para las bicicletas, se han usado MES y construcción de variables latentes para determinar los factores que más influyen en la elección o en la intención de elegir la bicicleta, para cálculos de demanda, para determinar niveles de satisfacción, entre otros tipos de alcance; por ejemplo: Ma *et al.* (2014) analizaron variables objetivas y subjetivas con un MES y concluyeron que los factores objetivos ambientales solo afectan indirectamente la elección de la bicicleta influenciando las percepciones. Sigurdardottir *et al.* (2013) usaron un MES y encontraron que la intención de elegir la bicicleta para ir al trabajo de los adolescentes cuando sean adultos está relacionada con experiencias positivas en el ciclismo, la disposición a aceptar restricciones para carros, actitudes negativas hacia los carros y visión futura ciclo-incluyente.

Los MES también se han usado junto a las teorías de segmentación de mercado, por ejemplo Li, Wang, Yang, & Ragland (2013) usaron segmentación de mercado basada en actitudes en la ciudad de Nanjing, China para estimar los segmentos de mercado y, desarrollar y adaptar políticas que promuevan el uso de bicicleta en cada segmento, para analizar los factores usaron un MES e identificaron un total de ocho variables latentes: necesidad de flexibilidad, sensibilidad al tiempo, necesidad de un horario fijo, deseo de comodidad, deseo de economía,

conciencia ambiental, percepción sobre los viajes en bicicleta y disposición a usar la bicicleta. Un alcance similar fue usado por Yu *et al.* (2015), quienes aplicaron segmentación de mercado basada en actitudes en la ciudad de Nanjing, China para evaluación de la tendencia a cambiar de modo de transporte a la bicicleta, y usaron un MES para identificar la relación entre la disposición a usar la bicicleta con factores actitudinales, los cuales fueron extraídos de treinta indicadores reportados por los encuestados.

Por su parte, Ranaiefar & Rixey (2016) desarrollaron un MES para predecir la demanda entre las estaciones de los sistemas de bicicleta compartidas en California, Chicago, Nueva York y Minneapolis (Estados Unidos), usando diferentes tipos de indicadores de tipo demográfico, socioeconómico, de uso de suelo y las características de la infraestructura.

Los MES han sido ampliamente usados para analizar actitudes y satisfacción entre los usuarios de sistemas de bicicletas públicas o sistemas de bicicletas compartidas. Por ejemplo, Kim, Choi, Kim, & Fujii (2017) consideraron que algunos factores psicológicos y subjetivos podrían tener un gran impacto en la actitud de los usuarios del sistema público de bicicletas y a través de un SEM encontraron que la preocupación por el ambiente era el factor que más influye en la percepción individual del sistema público de bicicletas. Chen, Xin, Ye, & Zhang (2018), usaron un MES para determinar los factores que influyen en la disposición individual de elegir el sistema público de bicicletas sobre otros modos en Nanjing, China y encontraron que las limitaciones en el tiempo de renta, la higiene de las bicicletas, la conveniencia de los transbordos y las actitudes acerca del sistema público de bicicletas son los factores claves que determinan la elección. Un MES fue aplicado en la ciudad de Kaohsiung, Taiwán por Huang & Su (2018) para explorar los factores que influyen en el comportamiento de los usuarios del sistema de bicicletas públicas y encontraron que los factores subjetivos son los más influyentes. Hazen, Overstreet, &

Wang (2015) exploraron los factores que influyen en la intención individual de elegir el sistema público de bicicletas en la ciudad de Beijing, China y encontraron que las percepciones de calidad, conveniencia y valoración estaban asociadas positivamente a la elección de la bicicleta.

En cuanto a la satisfacción del usuario, Oh, Kim, & Lee (2014) realizaron un MES y hallaron los factores que influyen en la satisfacción de usuario del sistema público de bicicletas de la ciudad de Daejeon, Corea del Sur y encontraron que la conectividad, la conveniencia, la economía y el orden son los factores más influyentes. Un MES fue usado para evaluar el nivel de satisfacción del sistema turístico de bicicletas en la zona histórica de Gyeongju, Corea del Sur y concluyeron que el entretenimiento, la conveniencia y la seguridad son aquellos que más influyen (Jin & Kim, 2012).

En los últimos años, el uso de modelos de elección híbrida ha tenido un crecimiento importante. Fernández-Heredia *et al.* (2014) usaron un modelo híbrido (MES combinado con un logit binario) para encontrar la estructura y la relación entre las variables que influyen la intención individual de usar la bicicleta, e identificaron cuatro variables latentes importantes para entender las actitudes individuales hacia la bicicleta: conveniencia, pro-bicicleta, factores físicos y restricciones externas. Un modelo híbrido que integra logit con MES fue usado por Motoaki & Daziano (2015) para analizar los efectos del clima en la demanda de bicicletas entre los estudiantes de la Universidad de Cornell (Nueva York) a través de tres variables latentes: estado con respecto a la bicicleta, estrés causado por el ciclismo y condición física, y encontraron que el estrés causado por el ciclismo es la variable más influyente y que las variables objetivas más importantes eran la pendiente, el nivel de tráfico y las condiciones climáticas.

Por su parte, Maldonado-Hinarejos *et al.* (2014) usaron un modelo de elección híbrida, que combinó un MES con un logit mixto, para analizar los factores predictivos en la demanda

del uso de bicicleta con respecto a otros modos de transporte, y encontraron que las actitudes y las percepciones explican en gran parte la elección de la bicicleta.

La revisión literaria presentada, fue útil para establecer las directrices y los alcances de la investigación. A través de esta, se pretende definir cuáles son los factores que más influyen en la elección de la bicicleta por parte de los habitantes del distrito de Barranquilla, usando variables latentes y analizando los datos a través de un modelo integrado de elección y variables latentes con estimación secuencial.



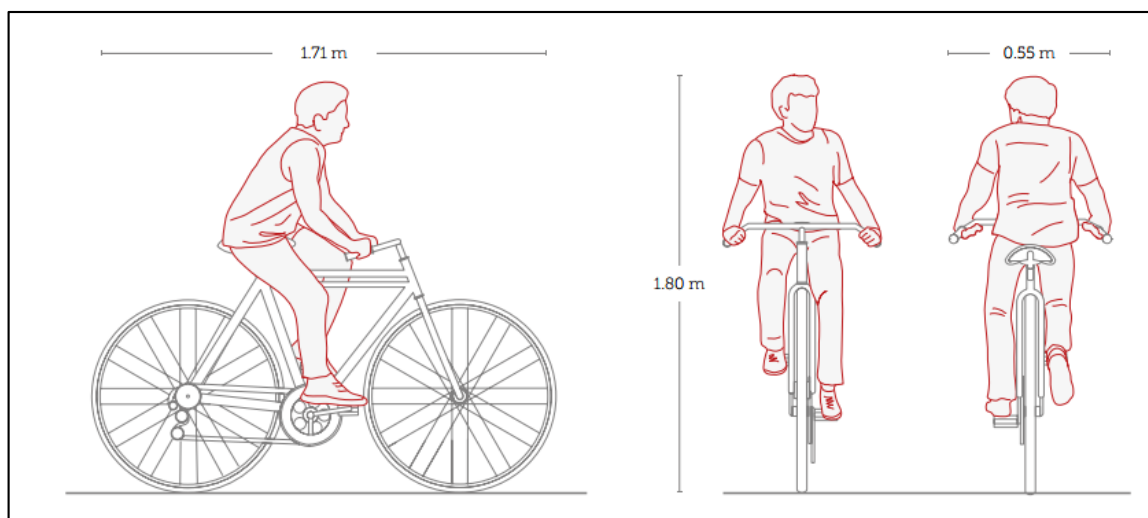
#### 4. Marco teórico

Teniendo en cuenta los objetivos y el alcance planteados, para el desarrollo del proyecto fue necesario recurrir a fundamentos teóricos concernientes a la bicicleta, variables latentes, modelos de ecuaciones estructurales, modelos de elección y variables latentes, entre otros. Esta teoría constituye la base de la presente investigación.

##### 4.1. Bicicleta

La bicicleta es un vehículo de tracción humana, accionado por pedal, de una sola huella, que tiene dos ruedas unidas a un marco, una detrás de otra. Una persona que maneja la bicicleta se conoce como ciclista. Debido a que son vehículos livianos y a que no demandan mucho espacio para circular, se consideran más versátiles que varios modos de transporte motorizados.

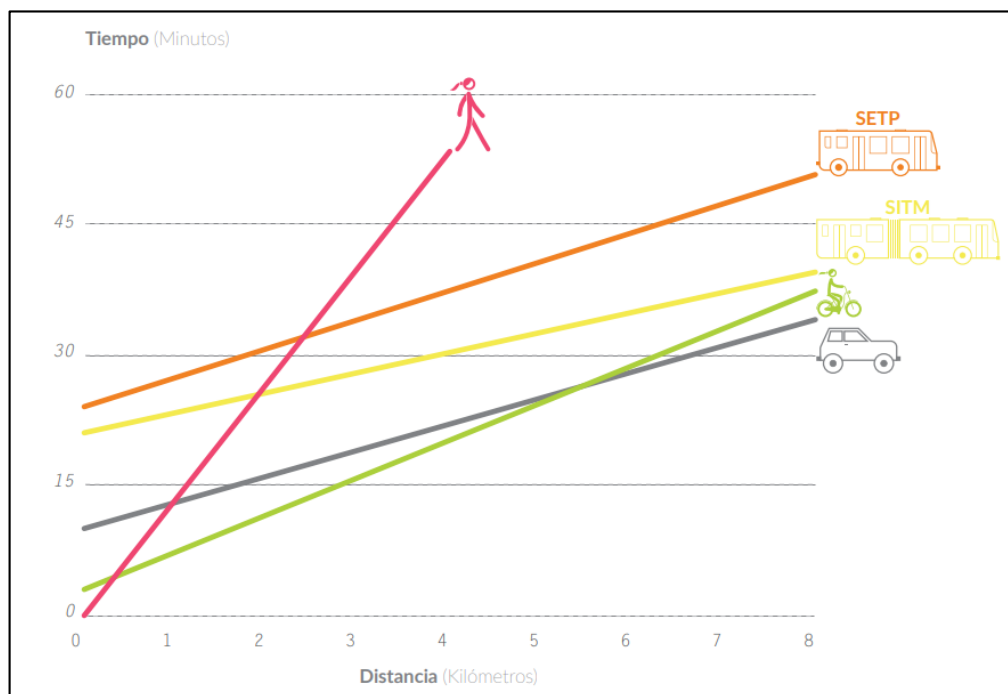
La estabilidad de la bicicleta depende enteramente del equilibrio y habilidades del ciclista, pues no poseen elementos de estabilidad lateral, lo que hace que no circulan de manera recta. Además, cuentan con baja amortiguación, por lo que los cambios bruscos de nivel o de textura en el pavimento afectan directamente la mecánica de la bicicleta y la estabilidad del ciclista (Municipalidad de Lima, 2017).



**Figura 1.**

**Nota:** tomado de IPTD & I-CE (2011).

La bicicleta como modo de transporte proporciona beneficios como economía, mejor desempeño que modos motorizados en viajes cortos, no genera emisiones CO<sub>2</sub>, no contribuye a la contaminación acústica (Arbeláez-Arenas et al., 2017), trae beneficios para la salud, ocupa poco espacio en las vía, su infraestructura es barata y ayuda a evitar los embotellamientos (Li, Wang, Yang, & Jiang, 2013). En un espacio de 3,5 metros de ancho, lo que ocupa un carril de autopista, se pueden mover en bicicleta 14.000 personas por hora y sentido, frente a las 8.000 personas que movería el transporte colectivo y 1.500 en automóvil (Ministerio de Transporte, 2016).



**Figura 2.**

**Nota:** tomado de Ministerio de Transporte (2016).

En la **Figura 2** se puede observar el tiempo de recorrido en diferentes distancias para varios modos de transporte urbano, y es importante notar que la bicicleta es el vehículo más efectivo, en términos de velocidad, para distancias menores a 5km. Para distancias mayores, generalmente, su efectividad, su atractivo y su demanda empiezan a disminuir considerablemente (Pucher & Buehler, 2006; van Wee, Rietveld, & Meurs, 2006).

## 4.2. Infraestructura urbana para bicicletas

La ciclo-infraestructura es el conjunto formado por la infraestructura pensada para la bicicleta y los complementos que la hacen funcional para este vehículo. En Colombia, dependiendo de sus características, la ciclo-infraestructura se puede clasificar en dos categorías: vías ciclistas y vías ciclo-adaptadas (Ministerio de Transporte, 2016).

Las vías ciclistas son vías exclusivas para la circulación de bicicletas. Dentro de esta categoría se suelen diferenciar dos modalidades, tal y como se observa en la **Tabla 1**.

*Tabla 1. Modalidades de vías ciclistas*

Modalidad	Definición
Ciclorruta	Son vías reservadas exclusivamente para la circulación en bicicleta, segregadas físicamente del resto del tránsito motorizado y de los peatones. Las ciclorrutas pueden transcurrir al nivel de la calzada, al nivel del andén o a un nivel intermedio, pero siempre llevan algún tipo de segregación física. Pueden ser unidireccionales o bidireccionales.
Ciclobanda	Son vías reservadas exclusivamente para la circulación en bicicleta segregadas visualmente, es decir, a través de marcas viales, color y otros dispositivos indicativos de su especialización. Pueden transcurrir a nivel de la calzada o formar parte del andén.

*Nota:* tomado de Ministerio de Transporte (2016).

Las vías ciclo-adaptadas son vías acondicionadas para la circulación de bicicletas. En la **Tabla 2** se muestra la gama de posibilidades de intervención en la red vial para acondicionar las calles y garantizar el tránsito seguro de las bicicletas.

*Tabla 2. Tipos de vías ciclo-adaptadas*

Tipo	Adaptación	Definición
Prelación de bicicleta	Banda ciclopreferente	Se trata de una banda de la calzada dedicada a la bicicleta, pero que excepcionalmente puede ser utilizada por parte del resto de los vehículos. Son unidireccionales y se señalizan mediante una línea discontinua.

Tipo	Adaptación	Definición
	Carril ciclopreferente	Carril de la calzada de uso compartido, en el cual el ciclista tiene el derecho de circular en paralelo o en el centro del carril y los vehículos motorizados tienen que adaptar su velocidad a la de la bicicleta. En todo caso la velocidad máxima permitida en estos carriles es de 30 km/h.
Autorizadas para el tránsito de bicicleta	Carril bus-bici	Carril para uso preferencial del transporte público (bus), en el que se autoriza la circulación ciclista. Es recomendable que la velocidad de los autobuses no supere los 40 km/h para facilitar la convivencia.
	Contraflujo ciclista	Vía de sentido único para el tráfico general en donde se autoriza la circulación ciclista a contraflujo. Los contraflujos sin segregación son aplicables en calles con poco tránsito y velocidades bajas, por lo cual estas soluciones suelen ser limitadas a las calles con tránsito calmado.
	Calle peatonal	Espacio o vía peatonal donde se autoriza la circulación de bicicletas, manteniendo el peatón la prioridad, sin ningún tipo de diferenciación de los espacios. Esta solución solo es aplicable si existe el suficiente espacio, si el volumen peatonal es bajo y si las perturbaciones que pueda causar la bicicleta son pocas.
Calle con tránsito calmado		Uso compartido de la calzada por parte de los ciclistas donde la circulación es segura, cómoda y atractiva gracias a que la intensidad y la velocidad del tránsito motorizado son bajas. Este tipo de adaptación es ideal para “calles cívicas” o “zonas 30”.

*Nota:* tomado de Ministerio de Transporte (2016).

### 4.3. Variables latentes

Se le llama variables latentes a aquellas variables que no son directamente observadas pero que pueden ser inferidas a partir de variables observadas, que en efecto sí pueden ser directamente medidas, a través de modelos matemáticos (K. A. Bollen, 2002). Los modelos matemáticos que incluyen variables latentes son conocidos como modelos de variables latentes o LVM (por su nombre en inglés *latent variable model*) y son usados en un amplio rango de disciplinas incluyendo psicología, demografía, economía, ingeniería, medicina, física, inteligencia artificial, bioinformática, econometría, administración, ciencias sociales, entre otros.

La naturaleza de las variables latentes está intrínsecamente relacionada con la naturaleza de los indicadores (variables objetivas) que se usaron para su definición, y en los modelos para su análisis, estos indicadores se asumen como “efectos” de la variable latente. La estimación de una variable latente se hace a partir del análisis de las varianzas y covarianzas de los indicadores. La medición de una variable latente es un conjunto de relaciones (modeladas en forma de ecuaciones), en las cuales la variable latente se establece como predictora de los indicadores (K. Bollen & Lennox, 1991).

Las variables latentes, tal y como las variables objetivos u observables, pueden clasificarse en discretas y continuas. Esta clasificación ayuda a definir los tipos de LMV, de la manera en que muestra en la **Tabla 3**.

<i>Tabla 3. Tipos de modelos de variables latentes</i>		
Variable	Variable latente	
observable	Continua	Discreta
Continua	Análisis factorial, modelos de ecuaciones estructurales	Análisis de perfiles latentes, modelo de mezcla
Discreta	Teoría de respuesta al ítem, análisis de rasgos latentes	Análisis de clases latentes

*Nota:* tomado de Cai (2012).

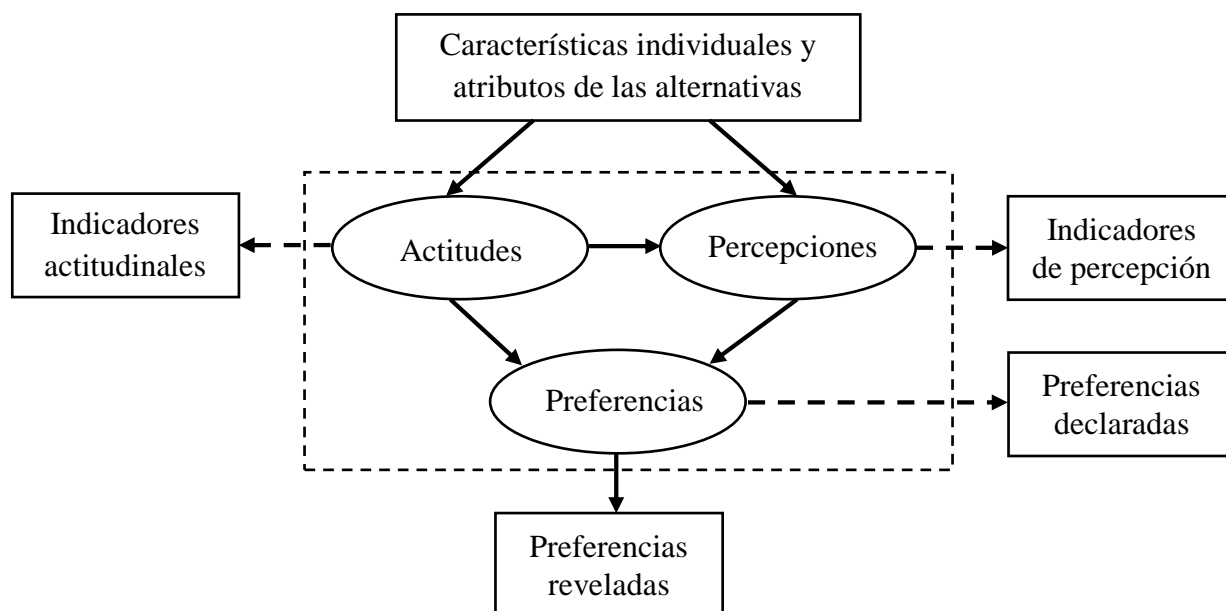
Walker (2001) establece que las variables latentes se hipotetizan como factores claves que caracterizan el comportamiento subyacente de los individuos y que están asociados a las características del individuo (e.g. socioeconómicas, demográficas, experiencia, entre otras) y a los atributos de las alternativas (e.g. precio, tiempo de viaje). También, define tres tipos de factores o variables latentes, estas son: percepciones, actitudes y preferencias.

- Las **percepciones** son las ideas o estimados individuales acerca de los niveles de los atributos de las alternativas. El proceso de elección está basado en las percepciones acerca de las alternativas. Algunos ejemplos de percepciones en el contexto de elección de modo de transporte son seguridad, conveniencia, fiabilidad y respeto al medio ambiente.
- Las **actitudes** son variables latentes que corresponden a las características del individuo que toma las decisiones. Estas reflejan necesidades, valoraciones, gustos y capacidades individuales. Son formadas en el tiempo y son afectadas por la experiencia y características socioeconómicas. Ejemplos en el contexto de elección de modo de transporte son importancia de la fiabilidad y sensibilidad al tiempo y a los costos.
- Las **preferencias** representan el atractivo de las alternativas de elección. Estas dominan el proceso de toma de decisiones. Las actitudes y las percepciones, así como las variables objetivas son factores afectan las preferencias del individuo y los procesos de toma de decisiones.

En las investigaciones, es común que las variables latentes y los indicadores sean definidos *a priori*, evidentemente sustentadas por un robusto cuerpo teórico, sin embargo, estas son luego puestas a prueba a través de modelos estadísticos que evalúan si existe una relación

actual entre las variables latentes y los indicadores (K. A. Bollen, 2002). Algunos de estos modelos estadísticos son: modelos ocultos de Márkov, análisis factorial (confirmatorio y exploratorio), análisis de componentes principales, regresión de mínimos cuadrados parciales, análisis semántico latente probabilístico y los algoritmos esperanza-maximización.

En la **Figura 3** se muestra la relación entre actitudes, percepciones y las preferencias. Las actitudes y las percepciones pueden ser explicadas por las características individuales o por indicadores, y estas a su vez pueden explicar las preferencias. Por otro lado, las preferencias reveladas y las preferencias declaradas son manifestaciones de preferencias subyacentes y por lo tanto, sirven como indicadores.



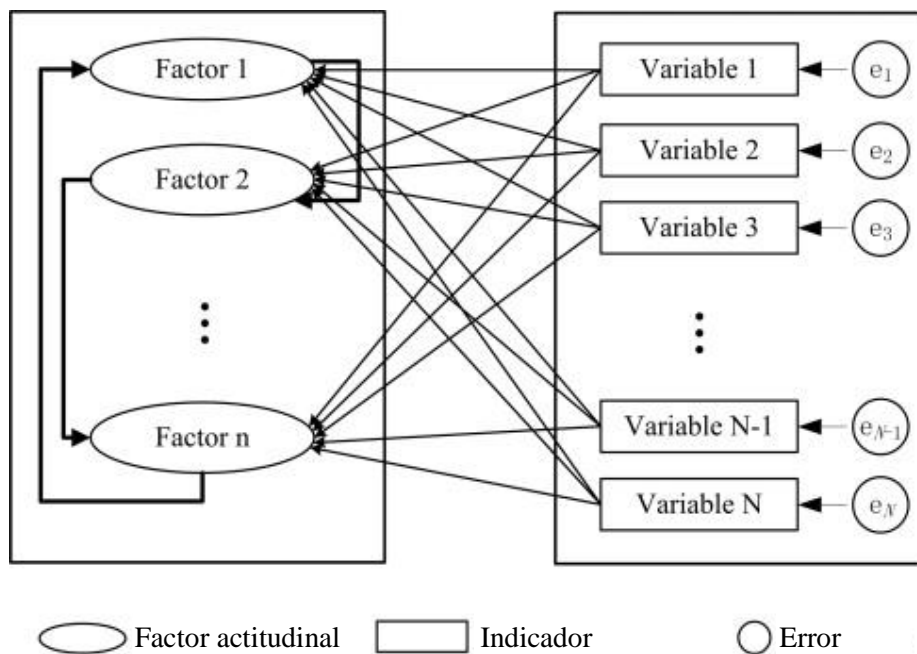
**Figura 3.**

*Nota:* tomado de Walker (2001).

#### 4.4. Modelos de ecuaciones estructurales

Los modelos de ecuaciones estructurales (MES) son una técnica de modelación que puede manejar un gran número de variables exógenas y endógenas, así como variables latentes especificadas como combinaciones lineares (promedios ponderados) de las variables subjetivas

(indicadores). Son usados para capturar las influencias causales (coeficientes de regresión) de las variables exógenas en las endógenas y las influencias causales entre las variables endógenas. Los MES también permiten especificar los errores en las covarianzas. Es un método de carácter confirmatorio, ya que es requerido que el modelador construya un modelo en términos de un sistema unidireccional de efectos de una variable en otra, cada efecto directo corresponde a una flecha en el diagrama de caminos o de flujo, como el que se muestra en la **Figura 4**. Las regresiones, ecuaciones simultaneas, análisis de caminos, análisis factorial y análisis de correlación canónica son casos de MES.



**Figura 4.**

*Nota:* tomado de Li, Wang, Yang, & Ragland (2013).

Un MES tiene dos componentes, un modelo de medición y un modelo estructural. El modelo de medición tiene que ver con cuan bien las variables exógenas miden las variables latentes. El modelo de medición incorpora estimaciones de los errores de medición entre las variables exógenas y las variables latentes. Por otro lado, el modelo estructural está asociado en cómo se encuentran relacionadas las variables del modelo. Los MES permiten modelar



explícitamente relaciones directas, indirectas y asociativas. Este componente es el que produce conclusiones sustanciales sobre la relación entre variables latentes y las relaciones subyacentes de un proceso o fenómeno (Washington, Karlaftis, & Mannering, 2003).

Los MES al igual que otros modelos estadísticos, son usados para evaluar hipótesis usando datos empíricos. Para fines de la modelación, estos datos estarán contenidos en una matriz de varianza y covarianza  $S$  de tamaño  $p \times p$ . Luego, se supone que el MES es función de  $Q$ , un vector de parámetros estructurales desconocidos,  $\theta$ , que a su vez generará una matriz de varianza y covarianza  $\Sigma(\theta)$ , que estará implícita en el modelo. Por otro lado, el conjunto de las variables dependientes se encuentra dentro del vector  $\eta$ , mientras que las variables independientes están en el vector  $\xi$ , tal que

$$\eta = \beta\eta + \gamma\xi + \epsilon \quad (1)$$

Donde  $\beta$  y  $\gamma$  son vectores que contienen los parámetros de regresión para la variables dependientes e independientes, respectivamente, y  $\epsilon$  es el vector de los errores de regresión. La matriz de covarianza para los factores exógenos está definida como  $\phi = COV[\epsilon, \epsilon^T]$ , y la matriz de los errores de covarianza como  $\theta = COV[\epsilon, \epsilon^T]$ . La matriz de varianza y covarianza para el modelo especificado en la **Ecuación 1** es

$$\Sigma(\theta) = G(I - \beta)^{-1}\gamma\phi\gamma^T(I - \beta)^{-1^T}G^T \quad (2)$$

En donde  $G$  es una matriz de selección que contiene 1 y 0 para seleccionar las variables observadas de todas las variables independientes en  $\eta$ . En la **Ecuación 2** existen  $p^2$  elementos o ecuaciones simultaneas, una por cada elemento en  $\Sigma(\theta)$ . Por otro lado, también hay  $p^*$  ecuaciones independientes

$$p^* = \frac{p(p-1)}{2} \quad (3)$$

Estas  $p^*$  ecuaciones independientes son usadas para resolver los parámetros desconocidos  $\theta$ , los cuales consisten en el vector  $\beta$ , el vector  $\gamma$ , y  $\phi$ . Entonces, la matriz de varianza y covarianza implícita en el modelo está dada por  $\Sigma(\theta)$ . Un punto importante, radica en la identificación de los MES: un MES está identificado cuando el número de ecuaciones simultaneas en mayor o igual al número de parámetros desconocidos, tal que  $Q \geq p^*$ .

Una vez el modelo se encuentre definido e identificado, la solución para los parámetros es obtenida. Estos son obtenidos usando una función de discrepancia, en donde las diferencias entre la matriz de varianza y covarianza de los datos y la matriz de varianza y covarianza implícita en el modelo son minimizadas. La función de discrepancia es la **Ecuación 4** (Washington et al., 2003).

$$F = F(S, \Sigma(\hat{\theta})) \quad (4)$$

La estimación de los MES se realiza, como ya se describió antes, usando el método de análisis de las covarianzas. Las pruebas de bondad de ajuste son usadas para determinar si un modelo es consistente con patrón de varianzas y covarianzas de los datos. Es típico, que se comparen varios MES, unos con otros, con el fin de determinar cuál de ellos es el modelo con mejor ajuste (Golob, 2003). El método más común para estimar los parámetros de un MES es la máxima verosimilitud (MLE, por su nombre en inglés *maximum likelihood estimation*), en este se encuentran fundamentados los MES y es el estimador por defecto de muchos softwares. Por otro lado, para evaluar que tan bien se ajusta el modelo a los datos o para la comparación entre modelos, se usan parámetros llamados índices de ajuste. Entre estos podemos identificar a la prueba de chi-cuadrado ( $X^2$ ), criterio de información de Akaike (AIC), índice de Tucker-Lewis (TLI), criterio de información Bayesiano (BCI), índice de ajuste comparativo (CFI), índice

Los MES presentan ciertas ventajas sobre otros métodos estadísticos de estimación lineal como la posibilidad de tratar variables exógenas y endógenas como variables aleatorias con errores de medición, manejo de variables latentes con múltiples indicadores, identificación de tipos diferentes tipos de errores, evaluación del modelo completo en lugar de la evaluación separada de variables, posibilidad de modelación de variables intermedias, modelación de los errores, manejo de información no distribuida normalmente, entre otros (Golob, 2003).

El análisis factorial es una técnica cuyo objetivo es reducir el número de  $p$  variables a un grupo más pequeño de  $K < p$  variables parsimoniosas. La meta es describir la covarianza entre muchas variables en términos de pocos factores no observables, y similar al SEM, el análisis factorial está basado en la matriz de correlación. El análisis factorial se basa en un modelo especificado previamente y es necesario que exista una base racional para llevarlo a cabo.

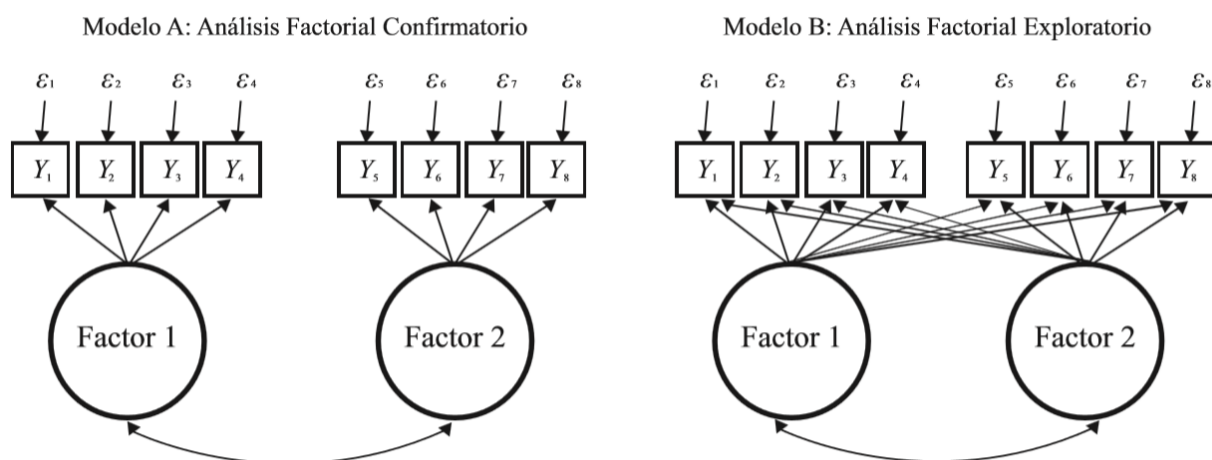
$$\begin{aligned} X_1 - \mu_1 &= \ell_{11}F_1 + \ell_{12}F_2 + \dots \ell_{1m}F_m + \varepsilon_1 \\ X_2 - \mu_2 &= \ell_{21}F_1 + \ell_{22}F_2 + \dots \ell_{2m}F_m + \varepsilon_2 \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \ddots \quad \quad \quad \vdots \\ X_p - \mu_p &= \ell_{p1}F_1 + \ell_{p2}F_2 + \dots \ell_{pm}F_m + \varepsilon_p \end{aligned} \tag{5}$$
$$(X - \mu)_{p \times 1} = L_{p \times m} + F_{m \times 1} + \epsilon_{p \times 1} \quad (6)$$

En donde  $F$  son los factores y  $\ell_{ij}$  son las cargas factoriales. Los  $\varepsilon_i$  están asociados solamente con los  $X_i$ , y los  $p$  errores aleatorios y  $m$  cargas factoriales son de carácter latente. Con  $p$  ecuaciones y  $p + m$  parámetros desconocidos, el modelo no puede ser resuelto sin

información adicional. Para estimar las cargas factoriales y errores desconocidos es necesario imponer restricciones, las cuales determinan el tipo de análisis (Washington et al., 2003).

Teniendo en cuenta lo anterior, se pueden definir dos tipos de análisis factorial: el análisis factorial exploratorio (EFA, por su nombre el inglés *exploratory factor analysis*) y el análisis factorial confirmatorio (CFA, por su nombre el inglés *confirmatory factor analysis*).

El EFA es un enfoque explorado por los datos, de tal manera que no se hacen especificaciones en relación con el número de factores latentes o al patrón de las relaciones entre los factores comunes y los indicadores, es decir, el EFA se usa como técnica exploratoria para determinar el número adecuado de factores comunes y descubrir cuales variables de medición son indicadores razonables para las diversas dimensiones latentes. Por su parte, en el CFA las relaciones entre variables latentes e indicadores son especificadas *a priori* y el modelo se evalúa en términos de lo bien que este reproduce la matriz de varianzas y covarianzas de las muestra en las variables medidas (Fernández Aráuz, 2015). En la **Figura 5** se ilustra de manera gráfica las definiciones de los dos tipos de análisis factorial.



**Figura 5.**

**Nota:** tomado de Fernández Aráuz (2015).

#### 4.6. Modelos integrados de elección y variables latentes

Como ya se ha indicado, las variables latentes son factores que indican en el comportamiento y percepciones individuales, pero no pueden ser medidas o cuantificadas debido a su intangibilidad (no poseen escala de medición) y a su subjetividad intrínseca (distintas personas las perciben de distintas maneras) (Raveau, Ortúzar, & Yáñez, 2010). Cuando las variables latentes son tenidas en cuenta en modelos de elección, se crea un modelo híbrido que incluyen un MLV (generalmente un MES) y un modelo de elección discreta, los cuales son conocidos como modelos integrados de elección y variables latentes (ICLV, por su nombre en inglés *Integrated Choice and Latent Variable*). En estos, cada variable latente es explicada por variables individuales específicas en el modelo estructural, mientras que cada indicador es explicado por las variables latentes en el modelo de medición (Chae, Jung, & Sohn, 2018).

Bollen (1989) propuso una metodología para el tratamiento de variables latentes, la cual consiste en plantear un modelo del tipo MIMIC (modelo de múltiples indicadores y múltiples causas independientes) en que estas variables ( $\eta_{ilq}$ ) son explicadas por características de los individuos y las alternativas ( $S_{iqr}$ ) a través de ecuaciones estructurales como se muestra en la **Ecuación 7**; a su vez, las variables latentes explican los indicadores de percepción ( $y_{ipq}$ ) mediante ecuaciones de medición como se muestra en la **Ecuación 8**:

$$\eta_{ilq} = \sum_r \alpha_{ilr} \cdot S_{iqr} + v_{ilq} \quad (7)$$

$$y_{ipq} = \sum_l \gamma_{ilp} \cdot \eta_{ilq} + \zeta_{ipq} \quad (8)$$

Donde  $i$  indica una alternativa,  $l$  una variable latente,  $q$  un individuo,  $r$  una variable explicativa y  $p$  un indicador;  $\alpha_{ilr}$  y  $\gamma_{ilp}$  son parámetros a estimar, mientras que  $v_{ilq}$  y  $\zeta_{ipq}$  son componentes de error que se asumen con media cero y desviación estándar a determinar. Dado

que los términos  $\eta_{ilq}$  son desconocidos, ambas ecuaciones deben ser consideradas en forma conjunta en el proceso de obtención de estimaciones de los parámetros.

Luego, teniendo en cuenta que en los modelos de elecciones discretas se asume tradicionalmente que los individuos actúan de forma racional maximizando su utilidad  $U_{iq}$ ; se define una utilidad representativa  $V_{iq}$  y un término de error  $\varepsilon_{iq}$  asociado a cada alternativa (Ortúzar & Willumsen, 2011), tal que

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (9)$$

La utilidad representativa  $V_{iq}$  es función de las alternativas o parámetros de modelación  $X_{ikq}$ ; si se incluyen variables latentes se obtiene una función de utilidad como la observada en la **Ecuación 10**, en donde  $\theta_{ik}$  y  $\beta_{il}$ , con parámetros a calibrar asociados respectivamente a los atributos tangibles y a las variables latentes:

$$U_{iq} = \sum_k \theta_{ik} \cdot X_{ikq} + \sum_l \beta_{il} \cdot \eta_{ilq} \quad (10)$$

Como las variables  $\eta_{ilq}$  no son conocidas, el modelo debe adoptarse conjuntamente con la **Ecuación 7** y la **Ecuación 8** que componen el modelos MIMIC. Finalmente, para caracterizar decisiones individuales se definen variables binarias  $d_{iq}$ , que toman valores según la **Ecuación 11**, en donde  $A(q)$  es el conjunto de alternativas disponibles para el individuo  $q$ .

$$d_{iq} = \begin{cases} 1 & \text{si } U_{iq} \geq U_{jq}, \forall j \in A(q) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (11)$$

Para la estimación de los ICLV se han desarrollado dos métodos: el secuencial, que aborda la construcción de variables latentes previo a su integración con las variables objetivas, y el simultáneo, en que ambos procesos se realizan conjuntamente.

#### 4.6.1. Estimación secuencial

En este caso el problema se aborda en dos etapas, separando las interacciones entre el modelo de variables latentes y el de elección discreta. En primera instancia se resuelve el modelo MIMIC, para obtener estimadores de los parámetros en las ecuaciones que relacionan las variables latentes con los indicadores de percepción y las variables explicativas. Utilizando estos parámetros en la **Ecuación 7**, se obtienen los valores esperados de las variables latentes para cada individuo y alternativa. Con esto, las variables latentes pueden ser parte del conjunto de variables explicativas del modelo de elección, estimándose junto a las variables tradicionales en una segunda etapa (Raveau et al., 2010).

Si bien este método posee la desventaja de no utilizar toda la información disponible en conjunto, la aplicación es clara y no presenta dificultades adicionales a las de un modelo tradicional, razón por la que es el método más utilizado en la práctica (Ashok *et al.*, 2002; Vredin Johansson *et al.*, 2005). Sin embargo, un problema potencialmente serio de este enfoque es que no garantiza estimadores no sesgados de los parámetros involucrados (K. A. Bollen, 1989); de igual manera, las desviaciones estándar de los parámetros tienden a subestimarse, produciendo estimadores cuyo nivel de significancia estadística es más elevado que su aporte real al modelo. Este problema puede solucionarse mediante una corrección estadística de las varianzas de los parámetros (Murphy & Topel, 1985).

#### 4.6.2. Estimación simultánea

En este enfoque la calibración conjunta se realiza mediante máxima verosimilitud, tomando la probabilidad de replicar la elección individual en base a la utilidad representativa planteada, es decir  $P(d_{iq}|V_{iq})$ . A partir de la **Ecuación 10**, esta probabilidad condicional puede

expresarse en términos de las variables y parámetros del modelo de elección, obteniéndose una probabilidad de elección de la forma  $P(d_{iq}|X_{ikq}, \eta_{ilq}, \theta_{ik}, \beta_{il})$ .

Como las variables latentes no son observables, es necesario integrar sobre su espacio de variación, condicionándolas en las variables que las explican. Así, la probabilidad de elección está dada por **Ecuación 12**, donde  $g(\cdot)$  es la función densidad de probabilidad de las variables latentes.

$$P(d_{iq}|X_{ikq}, S_{iqr}, \theta_{ik}, \beta_{il}, \alpha_{ilr}) = \int_{\eta_{ilq}} P(d_{iq}|X_{ikq}, \eta_{ilq}, \theta_{ik}, \beta_{il}) \cdot g(\eta_{ilq}|S_{iqr}, \alpha_{ilr}) \cdot d\eta_{ilq} \quad (12)$$

Para estimar el modelo es necesario introducir la información entregada por los indicadores de percepción pues, de lo contrario, el modelo no sería identificable. Los indicadores no son variables explicativas del modelo sino, al contrario, variables endógenas a las variables latentes tal que la probabilidad de elección a utilizar durante la estimación está dada por **Ecuación 13**, donde  $f(\cdot)$  es la función densidad de probabilidad de los indicadores.

$$P(d_{iq}, y_{ipq}|X_{ikq}, S_{iqr}, \theta_{ik}, \beta_{il}, \alpha_{ilr}, \gamma_{ipq}) = \int_{\eta_{ilq}} P(d_{iq}|X_{ikq}, \eta_{ilq}, \theta_{ik}, \beta_{il}) \cdot f(y_{ipq}|\eta_{ilq}, \gamma_{ipq}) \cdot g(\eta_{ilq}|S_{iqr}, \alpha_{ilr}) \cdot d\eta_{ilq} \quad (13)$$

Una vez definida la forma funcional del modelo de elección discreta, se utiliza máxima verosimilitud para la estimación de los parámetros del ICLV (Bolduc, Boucher, & Alvarez-Daziano, 2008).

#### 4.7. Nivel de agregación en los modelos

Dentro de los modelos, es posible encontrar dos niveles de agregación de la información: agregado y desagregado. El nivel agregado se refiere a la información que (1) es colectada de



diferentes fuentes y/o de diferentes mediciones, variables o individuos y, que (2) es compilada en sumarios, típicamente con el fin de realizar análisis estadísticos, permitiendo así revelar información que no sería observable cuando los datos son analizados por separado. Por otro lado, el nivel desagregado hace referencia a un conjunto de datos que (1) es colectado de diferentes fuentes y/o de diferentes mediciones, variables o individuos; que (2) es compilado en sumarios y, (3) por último es descompuesto en unidades más pequeñas de datos, con el propósito de desvelar tendencias subyacentes, patrones o ideas que no serían observables en conjuntos de datos agregados (Great Schools Partnership, 2015).

Para la modelación de la elección o de la predicción de demanda de bicicletas, se han usado los dos niveles de agregación para incorporar las bicicletas en los modelos existentes. En la **Tabla 4** se muestra una breve descripción de los niveles de agregación

*Tabla 4. Niveles de agregación en la elección de la bicicleta*

Nivel	Información base	Descripción	Modelos
Agregado	Información zonal	En esta categoría se incluyen estudios de comparación y estimación de la demanda potencial. Al ser combinaciones de técnicas simples, poseen un gran número de asunciones y generan considerables errores.	Análisis de regresión y otros enfoques estadísticos multivariable.
Desagregado	Información individual y/o de hogares	Los estudios en este nivel investigan las variables que influyen el comportamiento de viaje y predicen la probabilidad de que un individuo elija la bicicleta u otra opción de viaje.	Regresión logística, modelos de elección discreta, modelos de ecuaciones estructurales y modelos de elección híbrida.

*Nota:* tomado de Muñoz *et al.* (2016).

## **5. Marco legal**

A continuación, se presenta una síntesis de la normativa vigente relacionada con los incentivos para la promoción del uso de la bicicleta y de la ciclo-inclusión en la planeación de la infraestructura urbana, desde un contexto internacional hasta el contexto local.

### **5.1. Contexto internacional**

En el marco normativo internacional, se destaca que las ciudades que han promovido exitosamente el uso de la bicicleta, han diseñado e implementado Planes Maestros de Bicicleta (PMB). Estos son instrumentos por medio de los cuales se formalizan programas y proyectos de corto y mediano plazo, que ayudan a posicionar al usuario de la bicicleta como un actor vial relevante, fomentando prácticas ciclo-inclusivas, y que promueven la bicicleta como una opción de transporte viable (BID, 2013). Algunos ejemplos de estas ciudades son: Portland (Estados Unidos), Dublín (Irlanda), Rotterdam (Países Bajos), Copenhague (Dinamarca), Sevilla (España), entre otras.

Otro aspecto destacable en el contexto internacional, en especial en países europeos, consiste en incentivos fiscales y financieros concedidos a trabajadores con el fin de promover el uso de la bicicleta. Estos incentivos pueden ser subsidios y créditos para comprar bicicletas, pagos por kilómetros recorridos en bicicletas, reembolsos, todos estos conceptos están totalmente libres de cualquier deducción de impuestos o de seguridad social. Entre estos países podemos encontrar a Bélgica, Países Bajos, Reino Unido, Austria, Luxemburgo, Francia e Italia (ECF, 2014).

### **5.2. Contexto nacional**

Dentro del contexto nacional se pueden encontrar las siguientes leyes que reglamentan los temas tratados en el presente capítulo:

- **Ley 1753 de 2015** “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018

“Todos por un nuevo país” dicta entre otras cosas que:

**“ARTÍCULO 204. Estímulos para el uso de la bicicleta y los tricimóviles no motorizados.** El Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Transporte, realizará acciones tendientes a promover el uso de modos no motorizados y tecnologías limpias, tales como bicicleta, tricimóviles y transporte peatonal en todo el territorio nacional. (...)

**PARÁGRAFO SEGUNDO.** En un plazo no mayor a dos (2) años el Ministerio de Transporte diseñará una metodología para incluir en los futuros proyectos de interconexión vial las condiciones en las que debe incluirse infraestructura segregada (ciclorrutas o carril-bici) en zonas de alto flujo de ciclistas en entornos intermunicipales, ingresos a grandes ciudades, contornos o variantes urbanas, zonas de alta velocidad o de alto volumen de tráfico.”

- **Ley 1811 de 2016** “por la cual se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional” establece lo siguiente:

**“Artículo 3°. Beneficio por uso intermodal del transporte público.** Todos los usuarios de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo, Sistemas Integrados de Transporte Público, Sistemas Estratégicos de Transporte Público y Sistemas Integrados de Transporte Regional que hayan usado la bicicleta como modo alimentador del sistema y que hayan validado a través del sistema unificado de recaudo 30 validaciones del uso de biciparqueaderos y/o puntos de encuentro recibirán un pasaje abonado en su tarjeta. (...)

*Artículo 5°. Incentivo de uso para funcionarios públicos. Los funcionarios públicos recibirán medio día laboral libre remunerado por cada 30 veces que certifiquen haber llegado a trabajar en bicicleta.”*

### 5.3. Contexto local

Las autoridades del distrito de Barranquilla han expedido las siguientes normas con respecto a la promoción del uso de la bicicleta y a la planeación ciclo-inclusiva:

- **Decreto No. 0212 de 2014** “por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla 2012-2032” decreta con respecto a la inclusión de la bicicleta en la planeación urbana:

*“Artículo 170. PORTALES DE TRANSPORTE MASIVO. (...) Los Portales deberán desarrollar parqueaderos para vehículos y bicicletas, zona de mantenimiento y lavado para los vehículos del sistema. (...)*

#### **Artículo 178. INTERCAMBIADORES DE TRANSPORTE PÚBLICO**

*COLECTIVO. (...) Así mismo, tendrán que estar adaptados a cualquier tipo de usuario, es por ello que la infraestructura deberá facilitar el acceso y la movilidad de las personas en situación de discapacidad y proveer a los usuarios de bicicletas servicios integrales que incluyan alquiler, un sistema de parqueaderos y puntos que faciliten el acceso a la estación. (...)*

#### **Artículo 180. RED DE TRANSPORTE INDIVIDUAL PÚBLICO Y PRIVADO. (...)**

*En vías principales donde se presenten altos flujos vehiculares y altas velocidades debe procurarse la implementación de ciclovías que individualicen los flujos de bicicletas. (...)*

***Artículo 183. INTERCAMBIADORES DE TRANSPORTE INDIVIDUAL***

***PÚBLICO Y PRIVADO.*** (...) *En los sitios definidos en el Plan Maestro de Movilidad y/o su implementación, a través de las estrategias y estudios complementarios, se dispondrán de espacios para estacionamiento de vehículos, motocicletas y bicicletas para facilitar el intercambio modal. (...)*

***Artículo 187. CONDICIONES PARA ESTACIONAMIENTOS.*** (...) *Todas las edificaciones de estacionamientos podrán incluir zonas especializadas para los vehículos destinados a la carga y descarga de mercaderías y espacios exclusivos para motos y bicicletas. (...)*

***Artículo 202. PEATONALIZACIÓN DE VÍAS VEHICULARES.*** *Con el propósito de priorizar el transporte sostenible no motorizado, peatonal o en bicicleta, la Secretaría de Planeación Distrital, en conjunto con la Secretaría de Movilidad, podrán determinar la peatonalización de vías vehiculares y/o su cambio de uso como vías de circulación vial restringida mediante Resolución y en zonas definidas según los parámetros y lineamientos de los instrumentos de planificación que implementan el presente decreto. (...)*

***Artículo 204. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LAS CICLORUTAS.*** *Dicta normas acerca de la localización, dimensiones, acabados y pendientes de las ciclorrutas.*

***Artículo 205. INCLUSIÓN DE CICLORUTAS EN EL SITP.*** *Los planes de reconstrucción y/o construcción de arterias y semiarterias y tramos del Sistema Integrado de Transporte Masivo deberán incluir la construcción de andenes amplios con mobiliario urbano, incluyendo ciclorutas (...)*

**Artículo 206. CICLORUTAS PROYECTADAS.** *El sistema de ciclorutas comprenderá el Anillo Central Interno, la Vía de la Inclusión Social (Anillo intermedio) y la Avenida Circunvalar, además de la Vía 40 que sirve como conexión entre la Circunvalar y la Calle 30, cerrando el circuito. Estos anillos se integran mediante los ejes de la Calle 30, Vía la Cordialidad, Carrera 38 y Carrera 46. (...)*

**Artículo 606. NORMAS ESPECÍFICAS PARA EDIFICACIONES ESPECIALIZADAS DE ESTACIONAMIENTOS PARA VEHÍCULOS AUTOMOTORES.**

*Los estacionamientos podrán desarrollarse en edificaciones diseñadas para tal fin y estar contruidos en sótanos, semisótanos y/o en edificaciones especializadas en altura siguiendo los siguientes lineamientos: (...)*

*20. Se destinará un estacionamiento de bicicletas y uno de motocicletas por cada quince (15) parqueos de vehículos. En los parqueaderos con un número de cupos de estacionamiento inferior a ciento veinte (120) vehículos, el mínimo de estacionamiento de bicicletas y de motocicletas será de doce (12) cupos. (...)*

**Artículo 673. MANEJO DE LAS ZONAS DURAS EN LOS PARQUES.** *En cualquiera de sus escalas, para todos los parques, el manejo de zonas duras será el siguiente: (...) 15. Todos los parques deberán contar con un área de estacionamientos para bicicletas con su respectivo mobiliario. Se deberá generar un cupo de estacionamiento para bicicleta por cada 100 mts<sup>2</sup> del área total del parque (...).”*

- **Acuerdo No. 0011 de 2016** “por el cual se adopta el Plan de Desarrollo Distrital 2016-2019, ‘Barranquilla: Capital de Vida’” propone un programa de fomentar el uso de la bicicleta:

***“ARTÍCULO 80. PROGRAMA MONTEMOS BICICLETA.*** *Este programa busca promover el uso de la bicicleta como medio de transporte que puede ayudar a mejorar la calidad de vida de las personas y convertirse en una solución a muchos de los problemas de movilidad y de salud contemporáneos, a través de la generación y mejoramiento de la infraestructura, la participación ciudadana en proyectos y acciones estratégicas, los aspectos normativos y regulatorios, y la operación de bicisarriles y otros medios destinados para ello.”*

## **6. Marco metodológico**

En el presente capítulo se muestran las actividades realizadas para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos inicialmente. Este trabajo se fue desarrollado en tres grandes etapas: formulación e hipótesis, diseño y aplicación de la encuesta, y análisis de datos y modelación, las cuales son descritas a continuación.

### **6.1. Formulación, hipótesis y revisión literaria**

El impulso del uso de modos de transporte alternativos y modos de transporte activos, como la caminata y la bicicleta se ha popularizado en las últimas décadas, como propuestas para la solución de problemas de movilidad que actualmente agobian a las urbes. Un creciente cuerpo de literatura ha ahondado en los impactos que estos modos de transporte en la economía, productividad, movilidad, ambiente, salud pública de las ciudades y, además, se ha hecho especial énfasis en investigar los factores que influyen y los parámetros que se deben garantizar para promover el uso de estos.

La revisión literaria sobre el estado actual de los temas mencionados permitió establecer los objetivos y alcances, y sirvió como guía para la definición de los parámetros de estudio, el diseño metodológico de la investigación, el planteamiento de la hipótesis y la elección del método para la modelación.

### **6.2. Diseño y aplicación de la encuesta**

El diseño de la encuesta fue un paso clave y cuidadoso en la investigación, pues la encuesta fue la herramienta fundamental para la obtención de información primaria, necesaria para el desarrollo de la investigación. La versión final de la encuesta fue diseñada acorde a los objetivos y al alcance trazado, y se sustenta en una amplia revisión de literatura existente, a través de la cual se pudieron definir parámetros importantes como el tipo de encuesta, la



estructuración lógica, el tipo de preguntas a usar, escalas de medición, vocabulario adecuado, el tamaño de la muestra, entre otros.

Debido a las características de la investigación, se diseñaron dos versiones de la encuesta final, las cuales pueden ser apreciadas en los **Anexos 1 y 2**. En los siguientes incisos se explican y se sustentan detalladamente las características más sobresalientes de la encuesta.

### **6.2.1. Tipo de encuesta**

La encuesta diseñada toma características de dos tipos de encuestas ampliamente usadas para el análisis y la investigación de la elección modal en transporte: las preferencias reveladas (PR) y las preferencias declaradas (PD) (Muñoz *et al.*, 2016). Las encuestas PR miden el comportamiento real de las personas, ya sea mediante autoevaluación (encuestas, cuestionarios) u otros medios más objetivos (Pucher *et al.*, 2010), mientras que la encuestas PD miden opiniones, declaraciones y percepciones acerca de preferencias de los individuos cuando se les presentan opciones que describen una serie de situaciones o escenarios hipotéticos (González Marrero, Martínez Budría, & Esquivel Ramos, 2012).

Así, para obtener las características socioeconómicas y de viaje de los encuestados, se debió usar una PR, pues estas representan características y comportamientos actuales de los individuos. Sin embargo, para poder obtener las percepciones y las preferencias individuales acerca del ciclismo, fue necesario acudir a una PD, debido a que estas representan variables latentes y opiniones acerca de escenarios hipotéticos, las cuales no pueden ser medidos a través de PR. De esta manera, la encuesta diseñada incluyó características de los dos tipos en su estructuración.

Con el uso de encuestas que fusionan características de PR y PD se aprovechan ventajas de ambos tipos de encuestas: se logra la aminoración de los posibles sesgos de las PD,

introduciendo información obtenida a través de PR (Dissanayake & Morikawa, 2010). Por otro lado, con las PD se obtienen mayor cantidad de respuestas por individuo encuestado y es posible tratar atributos difíciles de medir de manera práctica como opiniones, percepciones, variables latentes, entre otros (Ortúzar, 2015).

### **6.2.2. Estructura de la encuesta**

La encuesta está conformada por tres partes o bloques, en los cuales se distribuyen las preguntas y aspectos evaluados, estos son: información socioeconómica, evaluación de percepción y preferencias con respecto al ciclismo.

#### **6.2.2.1. Parte 1: Información socioeconómica**

La primera parte de la encuesta buscó recolectar información sobre los factores socioeconómicos y sociodemográficos de los individuos, los cuales son frecuentemente analizados en estudios de elección de la bicicleta como modo de transporte. Para la encuesta se evaluaron los aspectos más usados en investigaciones de este tipo, tales como: edad, sexo, nivel de ingresos, nivel académico, estrato socioeconómico, acceso a un carro, disponibilidad de auto y de bicicleta, uso de la bicicleta y nivel de actividad física.

A continuación, se presentan las justificaciones para la inclusión de los diferentes factores en esta sección de la encuesta. El factor sexo es determinante para la elección de la bicicleta: los hombres tienden a usar más la bicicleta (y con más frecuencia) que las mujeres (Heinen, van Wee, & Maat, 2010). En contraste, factores como la edad y el nivel de ingresos han generado diferentes resultados en diferentes estudios (Piatkowski & Marshall, 2015), y la relación de estos con el ciclismo aun no es clara en la literatura (Heesch, Giles-Corti, & Turrell, 2014). La divergencia en los resultados de estos factores está relacionada con la cultura del ciclismo específica de cada región (Barberan, de Abreu e Silva, & Monzon, 2017).

El nivel socioeconómico presenta un comportamiento similar al del factor nivel de ingresos: (Sahlqvist & Heesch, 2012) encontraron en su estudio que los ciclistas tendían a ser personas de estratos más altos y que vivir en zonas de estrato bajo disminuía las posibilidades usar la bicicleta como transporte, en contraste, (Winters, Brauer, Setton, & Teschke, 2010) encontraron que personas de estrato bajo eran mucho más propensas a usar la bicicleta que las personas de estrato alto.

La disponibilidad de un auto y bicicleta en los hogares tienen efectos opuestos en la elección de la bicicleta: la disponibilidad del auto tiene un efecto negativo en la probabilidad de que un individuo use la bicicleta (Sahlqvist & Heesch, 2012), mientras que la disponibilidad de una bicicleta en el hogar está asociada de manera positiva con el uso de la bicicleta (Pinjari et al., 2008).

Por otro lado, el nivel de educación a menudo es correlacionada significativamente con los desplazamientos en bicicleta, sin embargo, existe una falta de consenso sobre la dirección y la dimensión del efecto (Handy & Xing, 2011). Individuos con altos niveles actividad física han mostrado una fuerte tendencia a montar bicicleta tanto para fines de transporte, como para fines de recreación (Heesch et al., 2014).

Algunos de estos factores son determinantes, mientras que otros varían de estudio a estudio, y aun no existe un acuerdo en su relación con el ciclismo, no obstante, es importante analizar la influencia de estos factores en la elección de la bicicleta por los habitantes del distrito de Barranquilla.

#### **6.2.2.2. Parte 2: Evaluación de la percepción**

La segunda parte de la encuesta tuvo como objetivo recolectar las percepciones individuales acerca del ciclismo, la cuales sirvieron de insumo para analizar los factores

actitudinales como variables latentes. La literatura ha establecido que, en investigaciones relacionadas con la bicicleta, los factores actitudinales son tan importantes como las características sociodemográficas (**Parte 1** de la encuesta) y los factores físico-ambientales (**Parte 3** de la encuesta) (Fu & Farber, 2017), además, los factores actitudinales son más influyentes y explican mejor la elección de la bicicleta que factores clásicos como el tiempo y el costo (Fernández-Heredia et al., 2014).

Para la presente investigación se evaluó la relación entre siete variables latentes, propuesta en la investigación de Li, Wang, Yang, & Ragland (2013), las cuales han sido evaluadas en la literatura ya que guardan una estrecha relación con la elección de la bicicleta, estas son: sensibilidad al tiempo, deseo de comodidad, deseo de economía, preocupación por la seguridad, conciencia ambiental, percepción sobre los viajes en bicicleta y disposición a usar la bicicleta.

La comodidad es importante al momento de la elección del modo de transporte y se ha encontrado que esta tiene una gran influencia en la disposición de los individuos a usar bicicleta (Apasnore, Ismail, & Kassim, 2017). El deseo por economía talvez esté relacionado con individuos en posiciones socioeconómicas bajas, pues estos son más propensos a usar transporte activo (Mota et al., 2007), mientras que en posiciones socioeconómicas más altas existe más probabilidad de usar opciones de viaje más costosas (Limtanakool, Dijst, & Schwanen, 2006).

La sensibilidad al tiempo es un variable extremadamente importante al escoger un modo de transporte (Börjesson & Eliasson, 2012), y varía dependiendo de los hábitos del individuo: aquellos que no usan la bicicleta consideran que el tiempo de viaje es uno de los principales inconvenientes para usar la bicicleta – aunque esto no siempre sea correcto –, lo cual es contrario a lo que consideran los ciclistas (Verma, Rahul, Reddy, & Verma, 2016).

Una percepción positiva acerca del uso y de los viajes en bicicleta aumenta la probabilidad de que los individuos usen y vayan al trabajo en este modo de transporte (Dill & Voros, 2007). La preocupación por la seguridad y la percepción de esta es un factor definitivo en la elección de la bicicleta (Winters, Davidson, Kao, & Teschke, 2011).

Daley, Rissel, & Lloyd (2007) encontraron que la concientización por el ambiente, en especial por reducir la contaminación aérea, tiene un impacto positivo en la elección de la bicicleta, adicionalmente Damant-Sirois & El-Geneidy (2015) establecen que tener actitudes en pro-ambientales está relacionado positivamente con la elección de la bicicleta. La disposición a usar la bicicleta está relacionada con las facilidades como duchas, parqueaderos exclusivos, carriles exclusivos y beneficios laborales, cuando estos existen, aumenta la probabilidad que un individuo elija la bicicleta (Wardman, Tight, & Page, 2007).

Para evaluar la percepción de los encuestados, se diseñó a un listado de 35 situaciones sencillas, las cuales fueron definidas a partir de las siete variables latentes estudiadas. En la **Tabla 5** se muestran las variables latentes y las situaciones relacionadas a ellas. La evaluación de estas situaciones sirvió como insumo para analizar la relación, la sensibilidad y la influencia de las variables latentes en la elección de la bicicleta, a través modelos de ecuaciones estructurales, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de la investigación.

**Tabla 5.** Variables latentes y situaciones planteadas

<b>Factor latente</b>	<b>Situación</b>
Sensibilidad al tiempo	P1: Me gusta que mi opción de viaje esté disponible inmediatamente
	P2: Siempre elijo la opción de viaje que se demore menos
	P3: Me preocupo por llegar temprano a mi lugar de destino
Preocupación por la seguridad	P4: Estoy atento(a) a todo a mi alrededor cuando uso la vía
	P5: Usando la bicicleta me expongo más a un robo
	P6: Me parece igual de seguro usar la bicicleta en vías con bajo tráfico y en vías con alto tráfico
	P7: Me preocupa accidentarme mientras voy en bicicleta

Factor latente	Situación
Deseo de comodidad	<p>P8: Prefiero viajar en bus o carro que en bicicleta o ir a pie en días lluviosos</p> <p>P9: Prefiero modos de transporte con aire acondicionado</p> <p>P10: Prefiero realizar menos esfuerzo físico al movilizarme</p> <p>P11: Me da igual llegar sudado(a) a mi lugar de destino</p> <p>P12: Me parece estresante usar la bicicleta</p>
Deseo por economía	<p>P13: No me importa pagar más dinero con el fin de ahorrar tiempo de viaje</p> <p>P14: No me importa pagar más dinero con tal de viajar más cómodamente</p> <p>P15: No le doy importancia al alza en la tarifa de los servicios de transporte</p> <p>P16: Elijo cualquier opción de viaje sin importar el costo</p>
Conciencia ambiental	<p>P17: Se siente bien actuar de manera ambientalmente responsable</p> <p>P18: Cambiaría el modo de transporte que uso si ayuda al ambiente</p> <p>P19: El aumento del uso de la bicicleta mejoraría la calidad del aire</p> <p>P20: La contaminación ambiental es un problema del que hay que preocuparse</p>
Percepción de los viajes en bicicleta	<p>P21: Usar la bicicleta es bueno para el medio ambiente</p> <p>P22: Usar la bicicleta es bueno para la salud</p> <p>P23: Usar la bicicleta es seguro</p> <p>P24: Usar la bicicleta es cómodo</p> <p>P25: Usar la bicicleta es económico</p> <p>P26: Usar la bicicleta es relajante</p> <p>P27: Usar la bicicleta es conveniente y flexible</p>
Disposición a usar la bicicleta	<p>P28: Usaría más la bicicleta si se pone de moda</p> <p>P29: Usaría más la bicicleta si existiesen más ciclovías</p> <p>P30: Usaría más la bicicleta si hubiese parqueaderos exclusivos para bicicletas</p> <p>P31: Usaría más la bicicleta si los índices de inseguridad bajan</p> <p>P32: Usaría más la bicicleta si el clima es agradable</p> <p>P33: Usaría más la bicicleta si pudiese ducharme en el destino</p> <p>P34: Usaría más la bicicleta si me dieran beneficios por hacerlo (medio día libre remunerado y un pasaje de bus gratis por cada 30 veces que vaya en bicicleta)</p> <p>P35: Usaría más la bicicleta si mis compañeros de trabajo/estudio también lo hacen</p>

*Nota:* elaboración propia.

Para la evaluación de las situaciones, se adoptó un sistema de medición en donde los individuos debían calificar su grado de acuerdo o de desacuerdo con una escala numérica de cinco puntos, la cual va desde uno (1) que representa un total acuerdo y cinco (5) que expresa un total desacuerdo, pasando por un grado neutral representando por el tres (3). A este tipo de escalas se les conoce con el nombre de escalas de Likert y son ampliamente usadas en investigaciones que emplean cuestionarios. En la **Tabla 6** se muestra la escala de medición adoptada.

**Tabla 6.** Escala de medición adoptada

Valor	Significado
1	Muy en desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Neutral
4	De acuerdo
5	Muy de acuerdo

*Nota:* elaboración propia.

#### **6.2.2.3. Parte 3: Preferencias con respecto al ciclismo**

La tercera y última parte de la encuesta tuvo como objetivo definir la disposición de los individuos a usar la bicicleta en nueve situaciones hipotéticas planteadas, las cuales tenían en cuenta cinco factores físico-ambientales: tiempo de viaje, pendiente, temperatura, nivel de tráfico y tipo de infraestructura.

Los factores analizados en esta sección de la encuesta han demostrado ser relevantes en la elección de la bicicleta de acuerdo con la literatura. Se ha encontrado que la elección de la bicicleta es significativamente sensible a la temperatura y el clima (Flynn, Dana, Sears, & Aultman-Hall, 2012). La topografía tiene una clara influencia en el ciclismo, y es notable que la pendiente máxima al parecer es más influyente que la pendiente promedio (Menghini, Carrasco, Schüssler, & Axhausen, 2010), sin embargo existen poblaciones que a pesar de tener una

topografía adversa, presentan una gran partición modal de viajes en bicicleta (Fernández-Heredia et al., 2014).

En cuanto al nivel de tráfico, se ha concluido que altos niveles de tráfico causan un impacto negativo en el uso y la percepción de la bicicleta (Li, Wang, Liu, & Ragland, 2012). La existencia de ciclovías ha sido asociada positivamente con el ciclismo en repetidas ocasiones (Barberan & Monzon, 2016), además la literatura ha demostrado que existe una fuerte preferencia por el tipo de infraestructura que está separada del tráfico automotor (Crane et al., 2017).

Por otro lado, el tiempo de viaje es extremadamente importante cuando se elige un modo de transporte, sin embargo, este no siempre es un factor determinante al estudiar las bicicletas. Las bicicletas poseen alta competitividad con respecto a los modos de transporte motorizados hasta ciertas distancias, y a pesar de esto, en la mayoría de áreas urbanas esto no se traduce en una gran cantidad de viajes en bicicleta (Fernández-Heredia et al., 2014).

Para cada uno de los cinco factores estudiados se definieron tres niveles: bajo, medio y alto, teniendo en cuenta las características inherentes al distrito de Barranquilla. Para ello fue necesario recurrir a diferentes fuentes de información secundaria: información meteorológica para el factor temperatura, información sobre los volúmenes vehiculares para el nivel de tráfico, etcétera. Así, en la **Tabla 7** se pueden observar los factores, los niveles definidos y las fuentes en las que fueron basados los niveles.

*Tabla 7. Factores y niveles definidos*

Factor	Niveles			Fuente
	Bajo	Medio	Alto	
Tiempo de viaje	10 min	20 min	30 min	Milakis & van Wee (2018)
Pendiente	0°	7°	15°	Carvajal & Ruiz P. (2006)
Temperatura	26°C	30°C	34°C	IDEAM (2015)



Factor	Niveles			Fuente
	Bajo	Medio	Alto	
Nivel de tráfico	250 veh/h	700 veh/h	1.200 veh/h	SDTSV (2017)
Tipo de infraestructura	No hay	Compartido	Segregado	Ministerio de Transporte (2016)

*Nota:* elaboración propia.
















La creación de los escenarios hipotéticos consistió en una combinación de los niveles definidos anteriormente. Este proceso combinatorio se hizo con ayuda del software Ngene, en el que cada factor representaba una variable y los niveles estaban definidos por números: bajo con número cero, medio con número uno y alto con número dos. El resultado fueron 18 escenarios divididos en dos bloques de elección, es por esto que se aplicaron dos tipos de encuestas. Los encuestados solo debían analizar uno de los dos bloques, es decir sólo nueve escenarios. Las combinaciones generadas por el programa se presentan en la **Tabla 8**.

*Tabla 8. Escenarios generados*

Situación	Bloque	Tiempo de viaje	Pendiente	Temperatura	Nivel de tráfico	Tipo de infraestructura
1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	1
3	1	2	2	2	0	2
4	1	2	2	1	1	1
5	1	0	0	2	1	2
6	1	1	1	0	1	0
7	1	2	1	2	2	0
8	1	0	2	0	2	1
9	1	1	0	1	2	2
10	2	0	1	1	0	2
11	2	1	2	2	0	0
12	2	2	0	0	0	1
13	2	1	2	0	1	2
14	2	2	0	1	1	0
15	2	0	1	2	1	1
16	2	1	0	2	2	1
17	2	2	1	0	2	2
18	2	0	2	1	2	0

*Nota:* elaboración propia.

En la versión final de la encuesta no se presentaron los escenarios con la forma en que se definieron los niveles en la **Tabla 7**, ni mucho menos como se presentan en la **Tabla 8**, sino que se presentó de una forma didáctica y de fácil entendimiento. En la **Figura 6**, se muestra la manera en la que se presentaron los escenarios uno, dos y tres del bloque uno. Todos los escenarios se presentan en los **Anexos 1 y 2**.

Tiempo	Terreno	Clima	Tráfico	Ciclovía	¿Escogería la bicicleta?	
10 min 	Generalmente plano 	Fresco 	Bajo 	No hay 	Sí	No
20 min 	Con algunas inclinaciones 	Normal 	Medio 	Demarcada en la vía 	Sí	No
30 min 	Con pendientes pronunciadas 	Caluroso 	Alto 	Separada de la vía 	Sí	No

**Figura 6.**

*Nota:* elaboración propia.

### 6.2.3. Tamaño de la muestra

Anterior a la aplicación de la encuesta, es importante conocer el número de observaciones necesarias para obtener una muestra representativa de la población. Definir el tamaño de la muestra, es un paso importante en las investigaciones, sin embargo, no existen reglas claras para el cálculo de esta en todo tipo de situaciones. Escoger una muestra al azar sin ningún tipo de sustentación supone problemas, pues una muestra muy grande significaría costos desmesurados y

una muestra muy pequeña podría tener como consecuencia la invalidación de los resultados obtenidos debido a altos grados de variabilidad.

Debido a lo anterior, las estimaciones del tamaño muestral se realizan a partir de extendidas fórmulas estadísticas, en las cuales muchas de sus variables de entrada son relativamente inciertas y subjetivas. Aun así, a través dichas expresiones se obtienen resultados aceptables (Ortúzar, 2015).

La fórmula usada para calcular el tamaño de la muestra mínimo ( $n$ ) se presenta en la **Ecuación 14**, la cual tiene en cuenta población y niveles de precisión, es decir nivel de confianza y error admisible:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q} \quad (14)$$

En donde:

$N$ : es el tamaño de la población o el número total de posibles encuestados, es decir, para la ciudad de Barranquilla  $N = 1.228.621^1$ ;

$Z$ : es una constante que depende del nivel de confianza asignado, en este caso el nivel de confianza asignado fue de 95%, lo que supone un valor  $Z = 1,96$ ;

$p$ : es la proporción de individuos que poseen la característica de estudio, debido a que este dato no es conocido, se supone que  $p = 0,5$  con el fin de asegurar un valor crítico en la muestra;

$q$ : es la proporción de individuos que no poseen la característica de estudio,  $1 - p$ , que considerando lo anterior  $p = q = 0,5$ ;

---

<sup>1</sup> Población de Barranquilla en 2017, tomada de proyecciones hechas por el DANE (2010).

$d$ : es el límite aceptable error muestral deseado, en porcentaje, y en para este proyecto se estableció como  $d = 5\%$ .

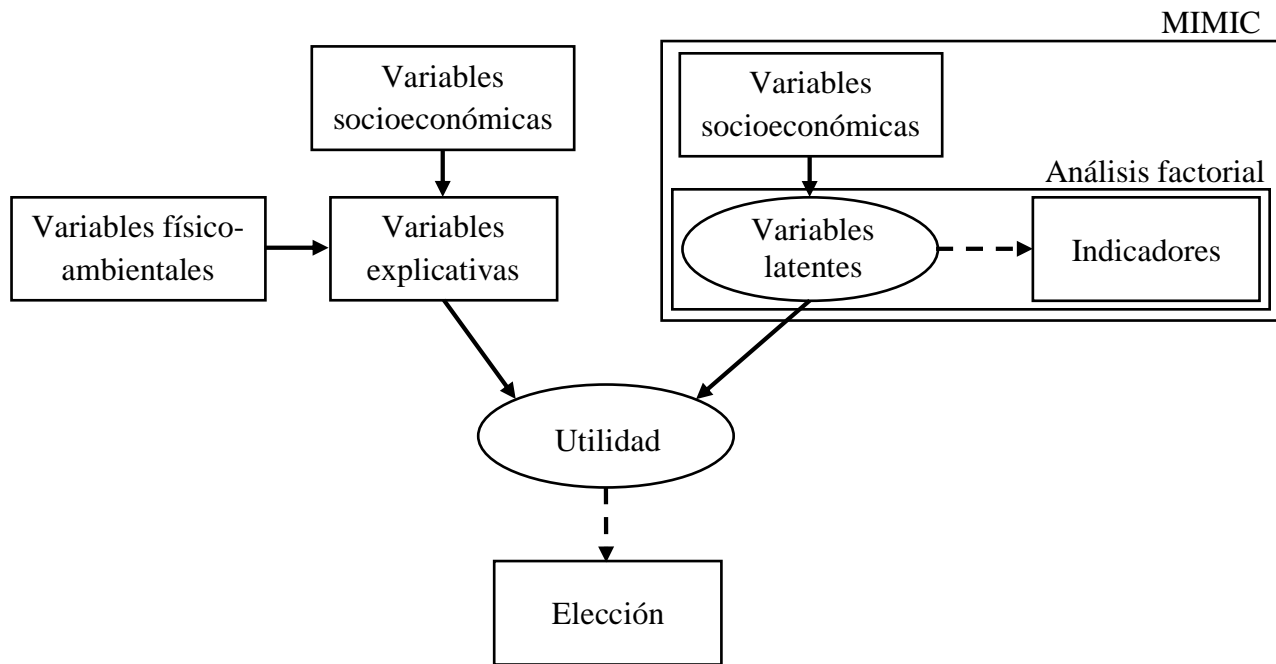
Definidos los parámetros, se obtuvo que el número mínimo de encuestas recomendado es de 384. En total fueron realizadas 434 encuestas entre noviembre de 2017 y enero de 2018, de las cuales fueron descartadas un total de 8 encuestas, equivalentes al 1,8% del total. El número total de encuestas usadas para la modelación fue de 426, cumpliendo satisfactoriamente con la cantidad mínima de encuestas calculadas.

### 6.3. Análisis de datos y modelación

El análisis estadístico y la modelación de los datos obtenidos a través de las encuestas permitieron conocer el comportamiento real de las variables evaluadas. En esta fase se dio cumplimiento de los objetivos y del alcance trazado para el presente trabajo.

Un análisis estadístico descriptivo preliminar fue realizado para describir los datos obtenidos en la primera y la segunda sección de la encuesta. Para la tercera parte de la encuesta se realizó un pequeño modelo logit binomial en el software IBM SPSS Statistics, cuyo objetivo fue determinar la dirección y la magnitud del efecto de las variables estudiadas en esa sección en la elección de la bicicleta.

La construcción del modelo integrado de elección y variables latentes con estimación secuencial consta de varias fases. La primera es la definición y estructuración del modelo. El modelo propuesto se observa en la **Figura 7**, está conformado por un modelo logístico binario y un modelo de ecuaciones estructurales.

**Figura 7.***Nota:* elaboración propia.

Por otro lado, para el modelo de ecuaciones estructurales (MES), las variables de entrada fueron los indicadores de percepción. Primero que todo, se realizó un análisis factorial exploratorio (EFA), con el fin de determinar si las variables latentes definidas *a priori*, se relacionaban con los indicadores asignados a estas, se usó el método de los autovalores para la extracción y se usó rotación de tipo ortogonal. La modelación del EFA fue llevada a cabo en el software IBM SPSS Statistics, se usó la función de rotación Varimax, la estimación fue realizada por máxima verosimilitud en el software y se usaron parámetros de ajuste como la medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett.

Posterior, fue necesario un análisis factorial confirmatorio (CFA), el cual permitió reafirmar las relaciones encontradas en el EFA y construir las variables latentes. Para el CFA, realizó la estimación por máxima verosimilitud, se usaron parámetros de bondad de ajustes como el índice de comparativo de ajuste (CFI), el índice de Tucker-Lewis (TLI) y el criterio de

información de Akaike (ACI) para comparar y elegir el mejor modelo. El proceso fue realizado en el espacio de programación conocido como R con la librería *lavaan*.

Luego de los anteriores pasos, se realizó un modelo de múltiples indicadores y múltiples causas independientes (MIMIC), con el cual se calcularon las ecuaciones que definen las variables latentes calculadas. Para este proceso se usó el software de modelación para ecuaciones estructurales denominado IBM SPSS Amos. Una vez más, el método de estimación usado fue el de máxima verosimilitud. Los índices de ajuste usados fueron en general los mismos que se usaron para el modelo CFA.

Una vez obtenidas las ecuaciones que definen las variables latentes, estas tomaron valores para cada individuo, y con un valor definido, se les trató como una variable explicativa más. Por último, las variables latentes fueron ingresadas a la utilidad y se evaluó su importancia y su aporte al modelo, este proceso es en sí el modelo integrado de elección y variables latentes (ICLV). Para evaluar la significancia de las variables y medir la calidad del modelo, se usó el software IBM SPSS Statistics, y a través de parámetros de ajustes de bondad como la log-verosimilitud y la prueba de Hosmer y Lemeshaw, se eligió el mejor modelo. El método de estimación usado fue el de máxima verosimilitud.

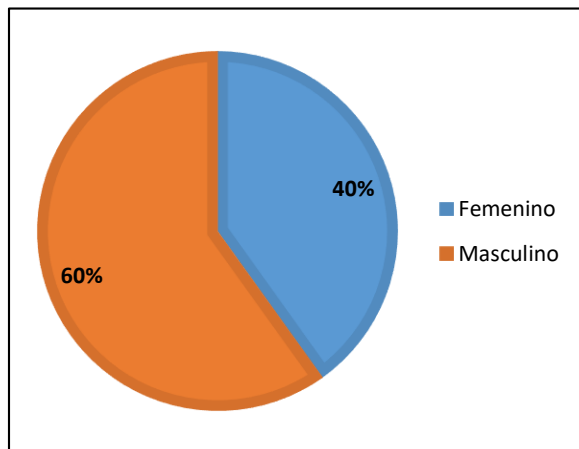
Finalmente, la modelación estadística da como resultado una ecuación matemática o función de utilidad que reproduce los fenómenos que fueron observados de la forma más exacta posible. Las variables que quedaron incluidas en la función de utilidad se consideran como las más influyentes y las que más aportan para explicar la elección de la bicicleta.

## 7. Análisis estadístico

A continuación, se presenta un análisis estadístico de los datos que permite dar a conocer las características sociodemográficas y de viaje de la población objeto de estudio y una idea básica sobre sus percepciones acerca de los viajes en bicicleta.

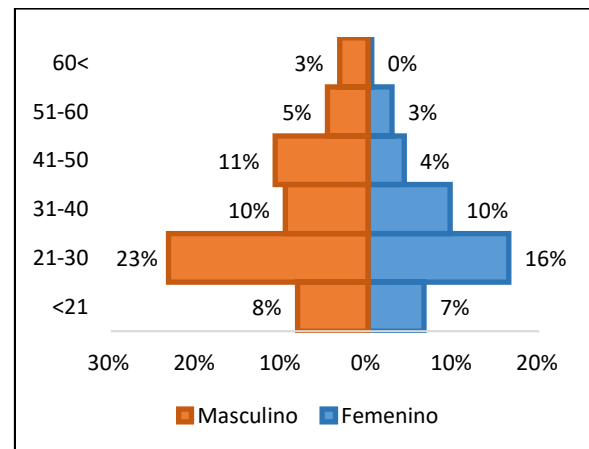
### 7.1. Características sociodemográficas

Las características sociodemográficas, corresponden a la primera parte de la encuesta y son variables específicas y medibles de cada individuo. Estas se ratifican como variables explicativas con relación a las elecciones, preferencias y percepciones individuales.



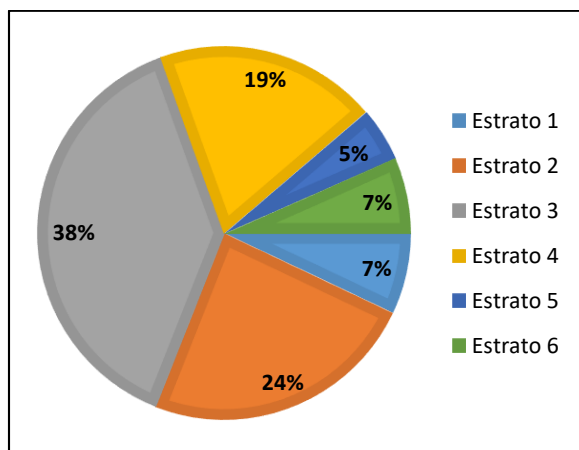
**Figura 8.**

*Nota:* elaboración propia.



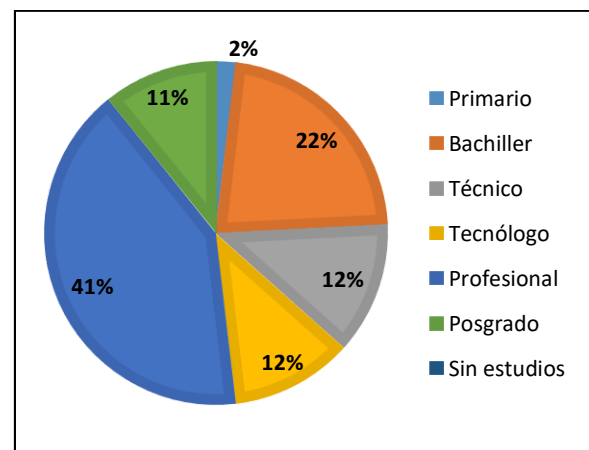
**Figura 10.**

*Nota:* elaboración propia.



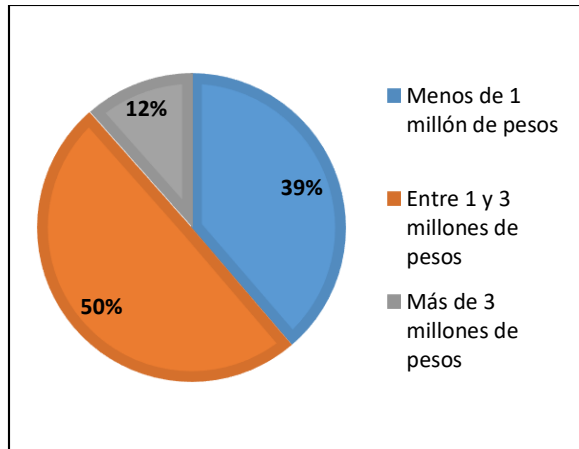
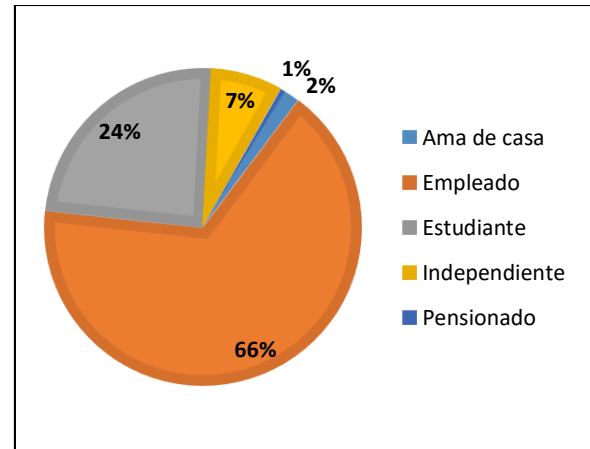
**Figura 9.**

*Nota:* elaboración propia.

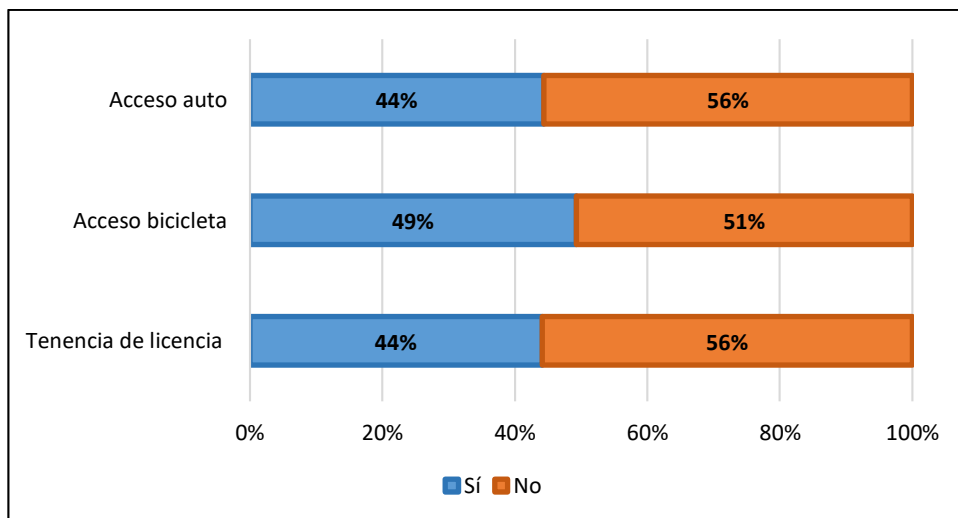


**Figura 11.**

*Nota:* elaboración propia.

**Figura 12.***Nota:* elaboración propia.**Figura 13.***Nota:* elaboración propia.

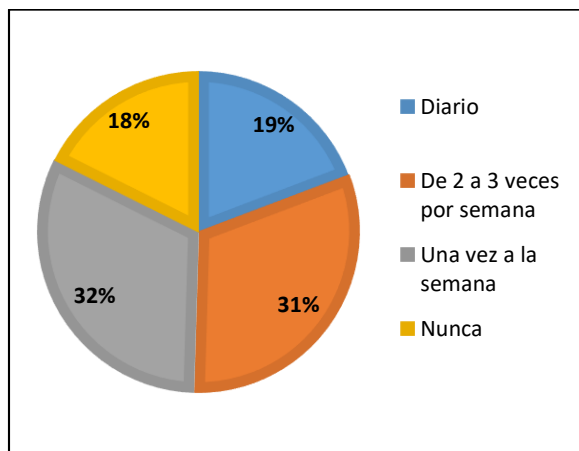
Teniendo en cuenta los resultados, la mayoría de encuestados fueron de sexo masculino (60%), debido a que se mostraban más colaborativos al momento de responder la encuesta (**Figura 8**), el 59% se encuentran entre los 21 y 40 años (**Figura 9**), el 62% son se encuentran estrato medio, es decir, en los estratos 3 y 4 (**Figura 10**) y el 52% posee un nivel académico profesional o superior (**Figura 11**). En cuanto al nivel de ingreso, el 50% de los individuos devenga entre 1 y 3 millones de pesos mensualmente y el 39% gana menos de 1 millón de pesos (**Figura 12**). El 66% del total de los individuos que respondieron la encuesta, eran empleados (**Figura 13**).

**Figura 14.***Nota:* elaboración propia.

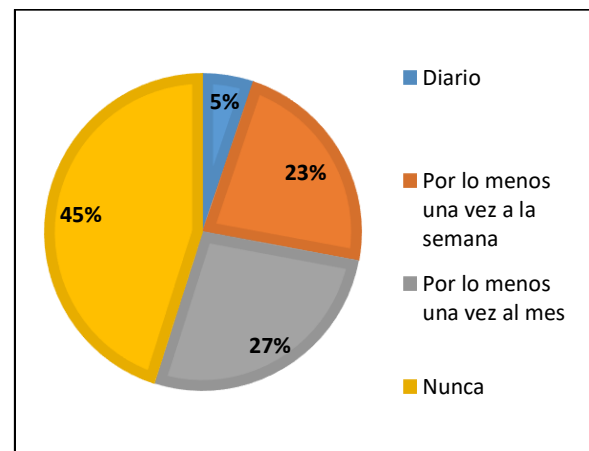


En la **Figura 14**, se observa que un 44% de las personas tiene acceso a un auto en su hogar y, el mismo porcentaje posee licencia de conducir, lo que quiere decir que se encuentran autorizados para conducir vehículos motorizados dentro del sistema vial. Por otro lado, un 49% de las personas que respondieron las encuesta tiene acceso a una bicicleta en su hogar.

La frecuencia del ejercicio es un factor importante influyente en la elección de la bicicleta, en la **Figura 15** se observa que el 50% de los individuos se ejercitan de una manera frecuente, es decir, que hacen algún tipo de actividad física por lo menos 3 veces a la semana y solo un 18% no realiza ejercicio de ninguna índole. En cuanto a la frecuencia del uso de la bicicleta, en la **Figura 16** se muestra que la mayoría de personas (45%) no le da uso a la bicicleta, mientras que un 28% son ciclistas frecuentes, pues usan la bicicleta al menos una vez a la semana.



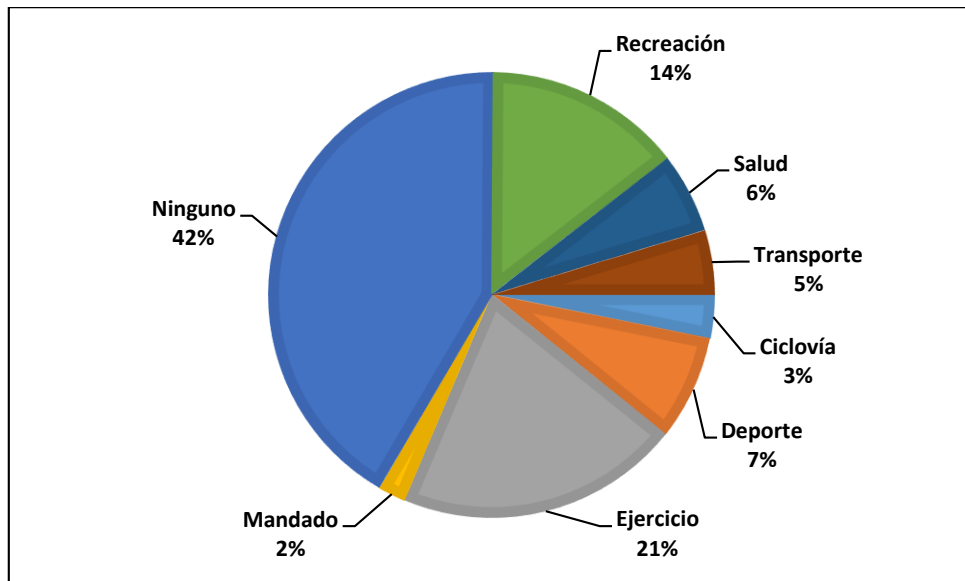
**Figura 15.**  
*Nota:* elaboración propia.



**Figura 16.**  
*Nota:* elaboración propia.

En la **Figura 17**, se relacionan los tipos de usos que los individuos le dan a la bicicleta. Se observa que un importante 42% no le da ningún tipo de uso a la bicicleta, lo cual es consistente con el resultado de las personas que nunca usan la bicicleta observado en la **Figura 16**. Por otro lado, un 51% de las personas usan la bicicleta en actividades relacionadas a la salud,

al ejercicio o a la recreación y sólo un 6% la usa para transportarse hacia al trabajo o para realizar mandados o trámites.



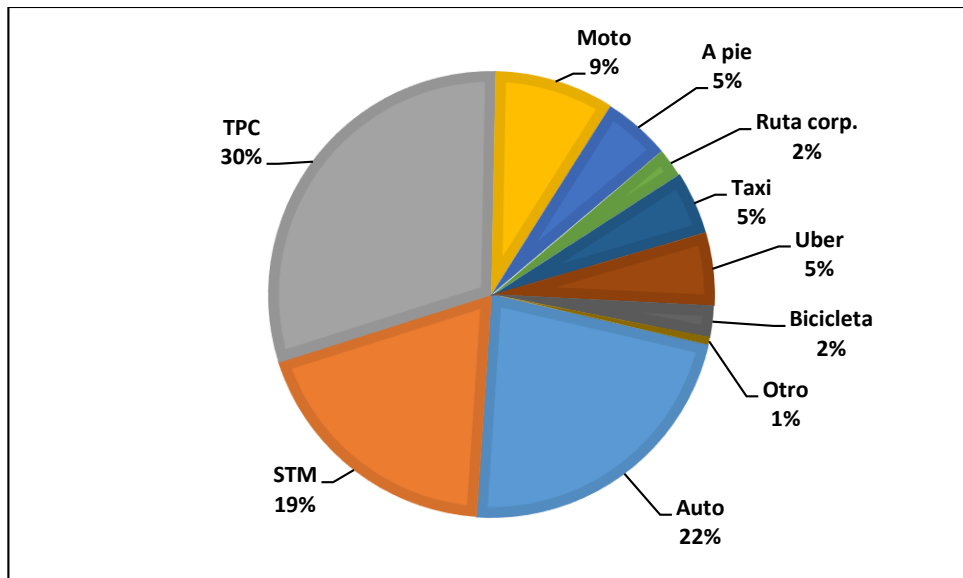
**Figura 17.**

*Nota:* elaboración propia.

## 7.2. Características de viaje

Las características de viaje de los individuos comprenden factores como motivos de viaje, frecuencia de los viajes, tiempo de viaje y modo de transporte en el que realiza el viaje. Para efectos del presente trabajo solo se evaluaron solo los últimos factores mencionados.

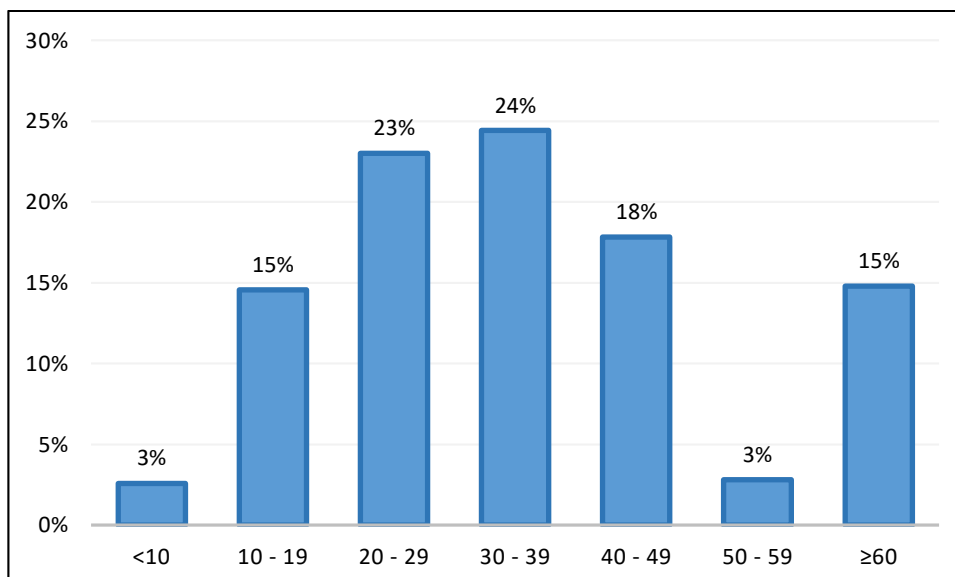
Los modos de transporte más usados por los individuos se pueden observar en la **Figura 18**. El 49% de las personas usan transporte público (transporte público colectivo o STM Transmetro) para llegar a sus destinos. El auto particular es el segundo modo de transporte más usado con un 22% del total, la moto es la cuarta opción de viaje más usada, y es usada por el 9% de los individuos. Por otro lado, un 5% de las personas que respondieron la encuesta se mueven a pie. La bicicleta solo representa un escaso 2% y es uno de los modos que menos se usa para el transporte. Otros modos más costosos, como el taxi y el transporte tipo Uber, representan más que la bicicleta, con un 5% cada uno.



**Figura 18.** Modo de transporte más usado

*Nota:* elaboración propia.

El tiempo de viaje promedio entre las personas encuestadas fue de 32,91 minutos, y fluctúan entre los 5 y 120 minutos. En la **Figura 19**, se observa que el 47% de las personas tardan en promedio entre 20 y 40 minutos en llegar a sus lugares de destino, el 18% tarda menos de 20 minutos y un 15% se demoran más de 1 hora en sus trayectos.



**Figura 19.**

*Nota:* elaboración propia.

### 7.3. Percepción acerca de la bicicleta

La medición de la percepción a través de indicadores corresponde a la segunda parte de la encuesta y fue la base para construir las variables latentes. En la **Tabla 9**, se observan los resultados de esta parte de la encuesta y se muestra una medida de tendencia central (media) y una medida de dispersión (desviación estándar) para cada indicador definido. La media de los indicadores fluctúa entre 1 y 5 debido a la escala de medición definida para la investigación (**Tabla 6**).

*Tabla 9. Resultados generales de la segunda parte de la encuesta*

<b>Factor latente</b>		<b>Situación</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Sensibilidad al tiempo	P1	Me gusta que mi opción de viaje esté disponible inmediatamente	4,392	0,825
	P2	Siempre elijo la opción de viaje que se demore menos	4,209	0,966
	P3	Me preocupo por llegar temprano a mi lugar de destino	4,401	0,857
Preocupación por la seguridad	P4	Estoy atento(a) a todo a mi alrededor cuando uso la vía	4,312	0,802
	P5	Usando la bicicleta me expongo más a un robo	3,744	1,105
	P6	Me parece igual de seguro usar la bicicleta en vías con bajo tráfico y en vías con alto tráfico	2,481	1,250
	P7	Me preocupa accidentarme mientras voy en bicicleta	3,953	1,139
Deseo de comodidad	P8	Prefiero viajar en bus o carro que en bicicleta o ir a pie en días lluviosos	4,183	1,024
	P9	Prefiero modos de transporte con aire acondicionado	4,033	1,064
	P10	Prefiero realizar menos esfuerzo físico al movilizarme	3,465	1,135
	P11	Me da igual llegar sudado(a) a mi lugar de destino	2,298	1,361
	P12	Me parece estresante usar la bicicleta	2,775	1,307
Deseo por economía	P13	No me importa pagar más dinero con el fin de ahorrar tiempo de viaje	3,338	1,292
	P14	No me importa pagar más dinero con tal de viajar más cómodamente	3,430	1,263
	P15	No le doy importancia al alza en la tarifa de los servicios de transporte	2,561	1,359
	P16	Elijo cualquier opción de viaje sin importar el costo	2,772	1,295

<b>Factor latente</b>		<b>Situación</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Conciencia ambiental	P17	Se siente bien actuar de manera ambientalmente responsable	4,094	0,913
	P18	Cambiaría el modo de transporte que uso si ayuda al ambiente	4,122	0,950
	P19	El aumento del uso de la bicicleta mejoraría la calidad del aire	4,354	0,859
	P20	La contaminación ambiental es un problema del que hay que preocuparse	4,493	0,812
Percepción de los viajes en bicicleta	P21	Usar la bicicleta es bueno para el medio ambiente	4,373	0,848
	P22	Usar la bicicleta es bueno para la salud	4,516	0,720
	P23	Usar la bicicleta es seguro	3,415	1,190
	P24	Usar la bicicleta es cómodo	3,592	1,068
	P25	Usar la bicicleta es económico	4,183	0,935
	P26	Usar la bicicleta es relajante	3,857	1,041
	P27	Usar la bicicleta es conveniente y flexible	3,700	1,110
Disposición a usar la bicicleta	P28	Usaría más la bicicleta si se pone de moda	3,516	1,169
	P29	Usaría más la bicicleta si existiesen más ciclovías	4,106	0,978
	P30	Usaría más la bicicleta si hubiese parqueaderos exclusivos para bicicletas	4,066	1,038
	P31	Usaría más la bicicleta si los índices de inseguridad bajan	4,178	1,065
	P32	Usaría más la bicicleta si el clima es agradable	4,080	1,060
	P33	Usaría más la bicicleta si pudiese ducharme en el destino	3,261	1,351
	P34	Usaría más la bicicleta si me dieran beneficios por hacerlo (medio día libre remunerado y un pasaje de bus gratis por cada 30 veces que vaya en bicicleta)	3,984	1,107
	P35	Usaría más la bicicleta si mis compañeros de trabajo/estudio también lo hacen	3,519	1,187

*Nota:* elaboración propia.

Para el primer factor latente, sensibilidad al tiempo, los resultados indican que a los individuos les preocupa llegar temprano a sus destinos y que generalmente eligen la opción que se demore menos. Esta última proposición no es totalmente cierta y el resultado quizá indique algún tipo de sesgo, debido a que en muchos casos los costos de viaje limitan las opciones de viaje asequibles para los usuarios, y las opciones asequibles no siempre son las mejores en términos de tiempos de viaje.

Los resultados indican que en el factor latente preocupación por la seguridad, la seguridad vial es importante, y al parecer lo es más que la seguridad relacionada con atracos, el cual tiene un promedio más bajo que los demás indicadores. También, es posible inferir que a las personas las afecta el nivel de tránsito mientras están conduciendo una bicicleta en las calles.

El tercer factor, deseo de comodidad indica que a las personas no les gusta llegar sudadas al lugar de destino y prefieren modos de transporte con aire acondicionado, lo cual lógico debido a las características climáticas de la ciudad de Barranquilla. En días lluviosos prefieren estar en modos de transporte que los protejan de la lluvia. Por otro lado, los resultados indican que la usar la bicicleta generalmente no es percibida como una actividad estresante.

Los indicadores relacionados con el factor deseo por economía son un poco contradictorios. Los individuos claramente se sienten afectados por el alza de tarifas en los servicios de transporte y no elijen cualquier opción de viaje sin importar el costo, como ya se había dicho el costo es un limitante para elegir la opción de viaje. Contrario a lo anterior, los resultados indican que a los individuos generalmente no les importa pagar más con el fin de ahorrar tiempo de viaje y/o viajar con más comodidad.

Los indicadores del factor conciencia ambiental resultaron con promedios cercanos al límite superior, lo que indica que los individuos en realidad si les preocupa el medio ambiente. Los individuos muestran actitudes positivas hacia el cambio de modo de transporte para ayudar al ambiente, hacia la preocupación por la contaminación ambiental y consideran que el aumento del uso de la bicicleta, en efecto, si ayudaría a mejorar la calidad del aire.

El sexto factor, percepción de los viajes en bicicleta, muestra percepciones extremadamente positivas hacia los beneficios que la bicicleta puede traer a la salud individual, a sus beneficios relacionados con el medio ambiente y a su economía. Otras características de uso

de la bicicleta, como seguridad y comodidad, presentan resultados que indican percepciones neutras acerca de estos indicadores.

Los resultados obtenidos para los indicadores del factor disposición a usar la bicicleta, sugieren que los individuos usarían más la bicicleta si existiese una mejor infraestructura para bicicletas (ciclovías y parqueaderos), si los índices de seguridad bajan, si el clima es agradable y si concedieran beneficios. El clima es un factor que no se puede cambiar, y el de Barranquilla puede llegar a ser adverso para el uso de la bicicleta. En cuanto a los beneficios, estos existen, pero no son conocidos, y al parecer resultaron ser atractivos para los individuos. La influencia social (moda) y las duchas en el destino resultaron menos influyentes que los indicadores anteriores en la disposición a usar la bicicleta.

Las afirmaciones hechas en este apartado son *a priori*, y solamente son basadas en el resultado de cruzar información de la media del valor medio de los indicadores con la escala de medición. En el siguiente capítulo los indicadores son tratados de una manera más apropiada a través del modelo estructural propio del modelo integrado de elección y variables latentes definido en el alcance de la investigación.

#### **7.4. Preferencias con respecto al ciclismo**

Las preferencias con respecto al ciclismo corresponden a la tercera parte de la encuesta y representan las variables explicativas del modelo. Sin embargo, en esta sección se llevó a cabo un pequeño modelo logístico binario, que solo incluyó las variables independientes evaluadas en la tercera parte de la encuesta (tiempo, pendiente, tráfico, temperatura e infraestructura), con el fin de confirmar la dirección y el nivel de significancia de estas en la elección de la bicicleta.

En la **Tabla 10**, se muestran los resultados del modelo y se observa que la significancia de las cinco variables evaluadas es alta, lo que quiere decir que estas explican una gran parte del fenómeno evaluado, que es la elección de la bicicleta.

*Tabla 10. Resultados del logit binario*

Variable	$\beta$	Error estándar	Valor-z	P(<0,05)	
Constante	1,305	0,104	12,505	0,000	***
tiempo	-0,413	0,043	-9,516	0,000	***
pendiente	-0,366	0,043	-8,537	0,000	***
temperatura	-0,731	0,044	-16,720	0,000	***
trafico	-0,217	0,044	-4,956	0,000	***
infraestructura	0,434	0,044	9,910	0,000	***

\*\*\*: valor de P menor a 0,001.

*Nota:* elaboración propia.

El signo del coeficiente  $\beta$  indica la dirección de la influencia en la elección de la bicicleta: un coeficiente negativo indica que entre más alta sea la magnitud de la variable, menos es la probabilidad de que se elija la bicicleta, por otro lado, si el coeficiente es positivo quiere decir que entre más alto sea la magnitud de las variables, existe más probabilidad de elegir la bicicleta. Entre más alejado del cero se encuentre el valor de  $\beta$ , más influencia tendrá en la elección. Según lo anterior, las variables: pendiente, tiempo, temperatura y tráfico influyen negativamente en la elección de la bicicleta, entre más alta sean estas más baja será la probabilidad de que un individuo elija la bicicleta.

Los valores de los estadísticos Z y P, informan que las variables son altamente significativas en el modelo, y que por lo tanto generan un gran aporte. El estadístico P indica que para todas las variables se rechaza la hipótesis nula y que la probabilidad de que estas tomen un valor nulo, es demasiado pequeña. De la misma manera, el estadístico Z indica que se rechaza la hipótesis nula, la cual considera a los predictores poco significativos.



Para el modelo realizado el criterio de información de Akaike fue de  $AIC = 4312,3$  y la log- verosimilitud fue de  $\hat{\theta} = -2150,16$ . Estos parámetros de ajuste son reportados debido a que son obtenidos del modelo, pero para el presente caso, resultan poco útiles ya que no se están comparando modelos entre sí.

## 8. Resultados de modelación

La construcción de un modelo integrado de elección y variables latentes para explicar los factores que influyen en la elección de la bicicleta es el principal objetivo de la presente investigación, sin embargo, este modelo solo resultó luego de la aplicación de una serie de técnicas estadísticas, que permitieron la construcción de variables. Debido a esto a continuación se muestran los resultados de todos los modelos realizados.

### 8.1. Modelo EFA

El análisis factorial exploratorio permitió confirmar la existencia de constructos latentes que explican los indicadores, de tal manera que se explicara el mayor porcentaje de la varianza de los datos con el menor número de variables latentes.

El primer modelo EFA fue realizado con los 35 indicadores definidos y se le permitió al software que definiera el número de factores latentes, usando el método de extracción por autovalores. En la **Tabla 11** se muestran los resultados del modelo, el cual fue tomado como línea base para la definición de un mejor modelo. Para efectos del análisis solo se muestran las cargas factoriales superiores a 0,3. En los resultados es posible observar que los Factores del 1 al 6 se encuentran bien definidos, presentando asociaciones de indicadores que generalmente tienen sentidos. Por su parte, los Factores del 7 al 9 se encuentran dispersos y relacionados con pocos indicadores, lo que indica que pueden ser descartados. Es importante notar que el indicador P6 no se encontró significativamente relacionado con ningún factor latente, razón por la cual puede ser excluido para las demás modelaciones.

*Tabla 11. Resultados del primer modelo EFA*

Indicador	Factor								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1					0,498				
P2					0,484				
P3					0,516				

Indicador	Factor								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P4					0,523				
P5					0,363				
P6									
P7								0,304	
P8						0,461			
P9						0,579			
P10						0,605			
P11								0,570	
P12								0,401	
P13				0,727		0,395			
P14				0,761					
P15				0,573					
P16				0,680					
P17	0,560								
P18	0,611								
P19	0,737								
P20	0,706								
P21	0,717								
P22	0,546								0,342
P23			0,535						
P24			0,697						
P25			0,518						
P26			0,747						
P27		0,303	0,633						
P28		0,428							
P29		0,749							
P30		0,788							
P31		0,676							
P32		0,517							
P33									0,417
P34							0,695		
P35							0,519		

*Nota:* elaboración propia.

El proceso para encontrar el mejor modelo fue un proceso iterativo de prueba y error, en donde se jugó con el número de factores y los indicadores que entraban al modelo. Se realizaron un total de cuatro modelos, la **Tabla 12** contiene los indicadores y el número de factores usados para cada uno de los modelos realizados.

**Tabla 12.** Modelos EFA realizados

Modelo	Número de factores	Número de indicadores	Indicadores
1	9	35	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35
2	7	34	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35
3	7	32	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P10, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35
4	7	31	P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8, P9, P10, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P34, P35

*Nota:* elaboración propia.

Para los modelos 2, 3 y 4, se fijó el número de factores a siete, con el fin de coincidiera con la cantidad de variables latentes definidas *a priori*. En la **Tabla 12** se puede observar que al hacer un nuevo modelo el número de indicadores disminuía, esto es debido a que a medida que se realizaban las modelaciones, estos empezaron a perder significancia y su aporte a la construcción de variables latentes se volvió casi nula. Cada uno de estos modelos mostró leves variaciones, debido a que desde el primer modelo se obtuvo un buen ajuste para los datos y fue posible identificar los indicadores más significativos. Según la información brindada por los indicadores de ajuste de los modelos, mostrada en la **Tabla 13**, es posible afirmar que el mejor modelo es modelo 4, pues explica un el mayor porcentaje de la varianza de los datos y presenta mejores índices de ajuste. La medida KMO indica si el análisis factorial llevado a cabo es útil para los datos, valores altos ( $>0,8$ ) generalmente apuntan a que los resultados del EFA explican de una manera satisfactoria los datos. En cuanto al test de Bartlett, si este genera valores pequeños ( $<0,05$ ), indica que el EFA se ajusta favorablemente a los datos y que es útil para explicar las variables latentes.

*Tabla 13. Índices de ajuste para los modelos EFA*

Modelo	Varianza explicada	KMO (>0,8)	Test de Bartlett (<0,005)
1	47,15%	0,849	0,000
2	42,26%	0,849	0,000
3	46,50%	0,850	0,000
4	47,51%	0,852	0,000

*Nota:* elaboración propia.

*Tabla 14. Resultados del cuarto modelo EFA*

Indicador	Factor						
	1	2	3	4	5	6	7
P1					0,520		
P2					0,493		
P3					0,527		
P4					0,528		
P5					0,324		
P7					0,320		
P8						0,476	
P9						0,618	
P10						0,543	
P13				0,680		0,436	
P14				0,715		0,355	
P15				0,606			
P16				0,705			
P17	0,564						
P18	0,591						0,333
P19	0,742						
P20	0,707						
P21	0,716						
P22	0,534						
P23			0,538				
P24			0,703				
P25			0,528				
P26		0,310	0,727				
P27		0,323	0,634				
P28		0,413					0,352
P29		0,750					
P30		0,770					
P31		0,693					
P32		0,582					
P34							0,419
P35							0,446

*Nota:* elaboración propia.

En la **Tabla 14**, se observan los resultados del modelo cuatro y se muestra que para los 31 indicadores tenidos en cuenta, existen un total de siete factores latentes que los explican. Es necesario tener en cuenta que los resultados del EFA son representativos de los datos y no necesariamente coinciden con alguna construcción teórica, e incluso en algunos casos pueden carecer de sentido. Para este caso, los factores 1, 2, 3, 4 y 6 coinciden con factores definidos *a priori* (**Tabla 5**), algunos teniendo menos factores, tal y como se observa en la **Tabla 15**. El factor 7 resultó siendo un factor disperso y que explica muy poca varianza, por lo que fue eliminado. Según los resultados el indicador P22 se encuentra relacionado con el factor 1, lo cual no resulta lógico, pues el factor 1 agrupa indicadores relacionados con la conciencia ambiental y P22 está relacionado con los beneficios a la salud.

Por su lado, el factor 5 agrupó indicadores de distinta naturaleza: los indicadores P1, P2 y P3 están relacionados con la sensibilidad al tiempo y los indicadores P4, P5 y P7 están relacionados con la preocupación por la seguridad. Una solución para esta situación consiste en la eliminación de alguno de los indicadores, sin embargo, realizar esta acción sería arbitraria, razón por la cual se mantuvieron los seis indicadores divididos en las dos variables latentes con las que se asumió que se encontraban relacionados, y para la definición de la situación se recurrió al análisis factorial confirmatorio (CFA).

**Tabla 15.** Factores latentes definidos a partir del EFA

<b>Factor</b>	<b>Nombre</b>	<b>Indicadores</b>
1	Conciencia ambiental	P17, P18, P19, P20, P21
2	Disposición a usar la bicicleta	P28, P29, P30, P31, P32
3	Percepción de los viajes en bicicleta	P23, P24, P25, P26, P27
4	Deseo por economía	P13, P14, P15, P16
5	Sensibilidad al tiempo	P1, P2, P3
5	Preocupación por la seguridad	P4, P5, P7
6	Deseo por comodidad	P8, P9, P10

*Nota:* elaboración propia.

## 8.2. Modelo CFA

El análisis factorial confirmatorio (CFA) permitió ratificar la relación entre los indicadores y las variables latentes encontrados en el EFA. En la **Tabla 16** se muestran los modelos CFA realizados, donde las variables latentes son sensibilidad al tiempo (*tiem*), preocupación por la seguridad (*seg*), deseo de comodidad (*com*), deseo por economía (*eco*), conciencia ambiental (*amb*), percepción acerca de los viajes en bicicleta (*perc*) y disposición a usar la bicicleta (*disp*). El carácter “→” indica una relación de medición entre las variables latentes y los indicadores definidos para cada una de ellas.

**Tabla 16.** Modelos CFA realizados

Modelo	Estructura	Observación
1	$tiem \rightarrow P1 + P2 + P3$ $seg \rightarrow P4 + P5 + P7$ $com \rightarrow P8 + P9 + P10$ $eco \rightarrow P13 + P14 + P16$ $amb \rightarrow P17 + P18 + P19 + P20 + P21$ $perc \rightarrow P23 + P24 + P25 + P26 + P27$ $disp \rightarrow P28 + P29 + P30 + P31 + P32$	Modelo que resultó del EFA
2	$seg \rightarrow P4 + P5 + P7$ $com \rightarrow P8 + P9 + P10$ $eco \rightarrow P13 + P14 + P16$ $amb \rightarrow P17 + P18 + P19 + P20 + P21$ $perc \rightarrow P23 + P24 + P25 + P26 + P27$ $disp \rightarrow P28 + P29 + P30 + P31 + P32$	Modelo sin la variable <i>tiem</i>
3	$tiem \rightarrow P1 + P2 + P3$ $com \rightarrow P8 + P9 + P10$ $eco \rightarrow P13 + P14 + P16$ $amb \rightarrow P17 + P18 + P19 + P20 + P21$ $perc \rightarrow P23 + P24 + P25 + P26 + P27$ $disp \rightarrow P28 + P29 + P30 + P31 + P32$	Modelo sin la variable <i>seg</i>
4	$com \rightarrow P8 + P9 + P10$ $eco \rightarrow P13 + P14 + P16$ $amb \rightarrow P17 + P18 + P19 + P20 + P21$ $perc \rightarrow P23 + P24 + P25 + P26 + P27$ $disp \rightarrow P28 + P29 + P30 + P31 + P32$	Modelo sin las variables <i>tiem</i> y <i>seg</i>

**Nota:** elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados de EFA, fue necesario evaluar si era preciso eliminar las variables sensibilidad al tiempo (tiem) y/o preocupación por la seguridad (seg). Por esta razón, el modelo 2 no incluye tiem, el modelo 3 no incluye la variable seg y el modelo 4 no incluye ninguna de estas dos variables. Basado en la información de los residuales, el indicador P15 fue eliminado de la modelación, al producir residuales muy altos. Para saber cuál de los modelos fue el que mejor se ajustó a los datos, se recurrió a la información brindada por los diferentes índices de ajuste, la cual se muestra es la **Tabla 17**. El modelo 2 es aquel que mejor se ajusta a los datos, cumpliendo con los rangos especificados para la aceptación del modelo. Los índices de ajuste comparativos como CFI, TLI, GFI e IFI, miden la diferencia entre el modelo planteado y un modelo nulo (modelo con varianzas nulas). Se ha establecido que valores cercanos a la unidad (generalmente  $>0,9$ ) señalan que el modelo planteado se aleja del modelo nulo y, por lo tanto, se ajusta a los datos favorablemente.

Por otro lado, los índices de ajuste absoluto ( $X^2/gl$ , AIC, BIC) examinan que tan bien el modelo se ajusta a los datos. El parámetro  $X^2/gl$  resulta de la relación entre el valor de la prueba del chi-cuadrado y los grados de libertad del modelo, si este parámetro toma valores menores o iguales que 3, el modelo se acepta. Para el AIC y BIC, se considera que entre menor sea su magnitud el modelo tiene un mejor ajuste, sin embargo, en algunas situaciones estos parámetros se ven influenciados por la complejidad del modelo (Schreiber, 2017). Para este caso, la complejidad del modelo no afectó el valor de estos parámetros.

Por último, los índices de ajuste predictivo como el RMSEA y SRMR, están relacionados con los residuales y miden que tan bien el modelo reproduce matriz de varianzas y covarianzas propia de los datos. Si estos presentan valores menores que 0,05 y menores o iguales que 0,08



respectivamente, significa que le modelo está reproduciendo los datos de una manera satisfactoria.

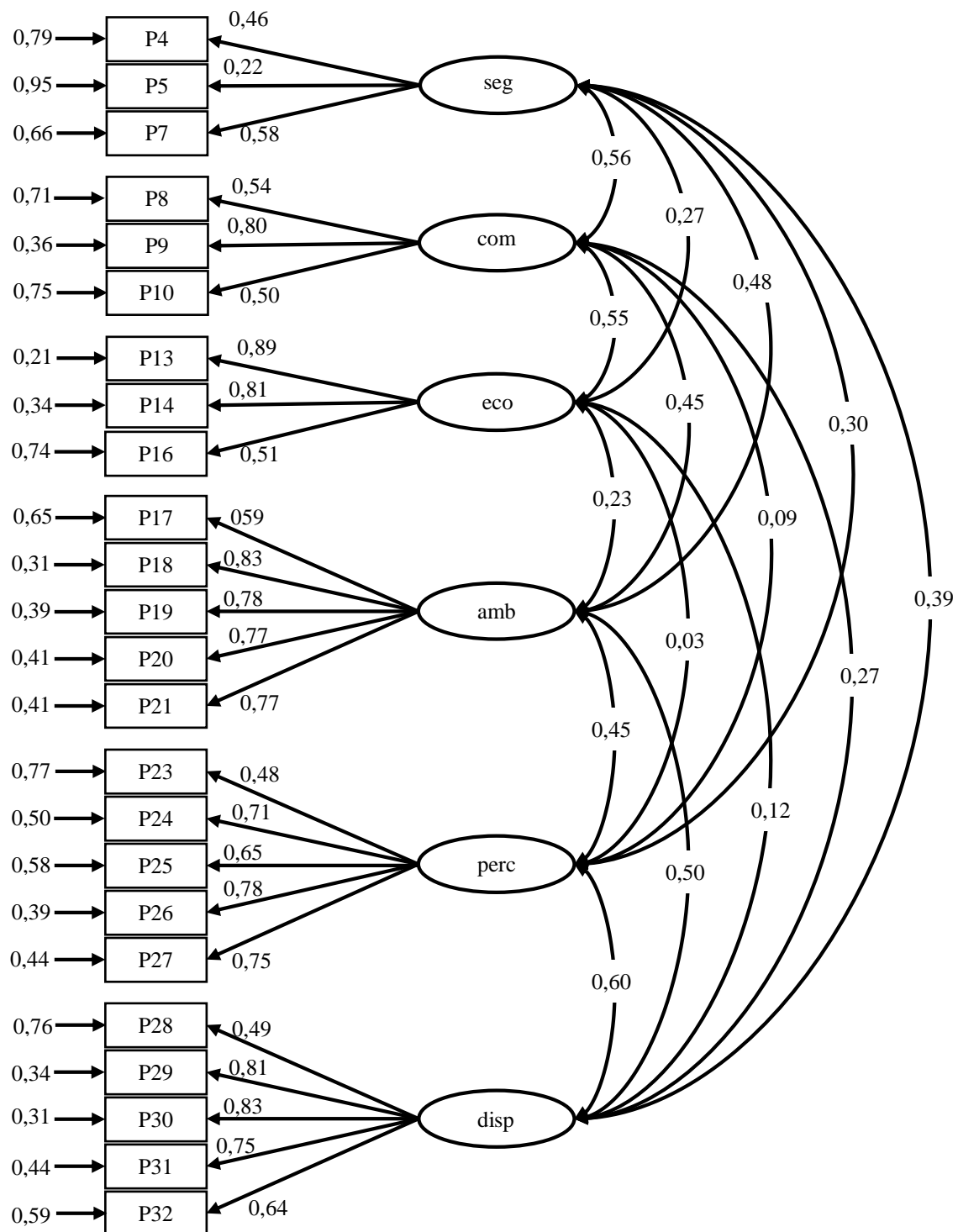
**Tabla 17.** Índices de ajuste para los modelos CFA

Índice	Modelo			
	1	2	3	4
$X^2/df (\leq 3)$	2,126	2,025	2,025	2,189
AIC	794,231	495,888	639,664	605,871
BIC	1098,313	706,719	895,094	861,301
CFI ( $>0,9$ )	0,907	0,933	0,919	0,927
TLI ( $>0,9$ )	0,892	0,922	0,906	0,915
GFI ( $>0,9$ )	0,897	0,915	0,907	0,911
IFI ( $>0,9$ )	0,908	0,934	0,920	0,928
RMSEA ( $<0,05$ )	0,051	0,049	0,052	0,053
SRMR ( $\leq 0,08$ )	0,060	0,057	0,058	0,054

*Nota:* elaboración propia.

En la **Figura 20**, es posible observar la solución estandarizada del modelo 2 en forma de gráfico de caminos. Los números que aparecen sobre las líneas unidireccionales son las cargas factoriales, las cuales representan el grado de relación entre los factores latentes con sus respectivos indicadores. Es notable que la gran mayoría presentan valores altos y apropiados (es recomendable que las cargas sean mayores a 0,3), excepto el indicador P5 el cual presenta una carga de 0,22. Las cargas factoriales pueden interpretarse como correlaciones entre las variables latentes y los indicadores, ya que las variables latentes representan los únicos predictores de los indicadores. También, se puede establecer una relación de proporcionalidad directa entre las cargas factoriales y el porcentaje de la variabilidad, en otras palabras, entra mayor sea la carga factorial, mayor es el porcentaje de variabilidad del indicador que es explicado con la variable latente.

Las flechas bidireccionales que unen a las variables latentes representan las covarianzas entre estas. Los valores en la parte izquierda de cada indicador representan términos asociados a la proporción de error de cada indicador, que es posible que no sea explicado por la variable latente.

**Figura 20.****Nota:** elaboración propia.

En la **Tabla 18** se observan los parámetros estimados para el CFA. En general, se obtuvieron buenos resultados, reafirmando que el modelo 2 presenta un buen ajuste. El valor de P es bastante bajo para las cargas factoriales, para los interceptos y para las varianzas de todos los indicadores, lo que indica que estos parámetros resultaron significativos para el modelo planteado y que la probabilidad de que estos tomen valores nulos es extremadamente baja.

**Tabla 18.** Parámetros estimados del modelo CFA

Indicador	Cargas factoriales estandarizadas			Interceptos			Varianzas		
	Est.	E.E.	P(<0,05)	Est.	E.E.	P(<0,05)	Est.	E.E.	P(<0,05)
P4	0,464	0,054	***	4,312	0,039	***	0,504	0,044	***
P5	0,218	0,077	0,002	3,744	0,054	***	1,161	0,083	***
P7	0,582	0,085	***	3,953	0,055	***	0,855	0,102	***
P8	0,538	0,054	***	4,183	0,050	***	0,743	0,059	***
P9	0,803	0,056	***	4,033	0,052	***	0,402	0,067	***
P10	0,500	0,060	***	3,465	0,055	***	0,965	0,074	***
P13	0,889	0,062	***	3,338	0,063	***	0,350	0,078	***
P14	0,809	0,061	***	3,430	0,061	***	0,551	0,070	***
P16	0,511	0,063	***	2,772	0,063	***	1,237	0,090	***
P17	0,588	0,043	***	4,094	0,044	***	0,544	0,041	***
P18	0,236	0,044	***	4,216	0,104	***	4,368	0,303	***
P19	0,776	0,037	***	4,354	0,042	***	0,292	0,028	***
P20	0,773	0,035	***	4,493	0,039	***	0,265	0,025	***
P21	0,767	0,037	***	4,373	0,041	***	0,296	0,028	***
P23	0,481	0,059	***	3,415	0,058	***	1,086	0,079	***
P24	0,714	0,049	***	3,592	0,052	***	0,558	0,048	***
P25	0,650	0,044	***	4,183	0,045	***	0,503	0,040	***
P26	0,783	0,046	***	3,857	0,050	***	0,419	0,041	***
P27	0,747	0,049	***	3,700	0,054	***	0,542	0,049	***
P28	0,490	0,057	***	3,516	0,057	***	1,036	0,074	***
P29	0,811	0,041	***	4,106	0,047	***	0,326	0,031	***
P30	0,834	0,043	***	4,066	0,050	***	0,327	0,034	***
P31	0,747	0,047	***	4,178	0,052	***	0,500	0,042	***
P32	0,640	0,049	***	4,080	0,051	***	0,662	0,050	***

**Est.:** Estimados; **E.E.:** Error estándar; **\*\*\*:** valor de P menor a 0,001.

**Nota:** elaboración propia.

### 8.3. Modelo MIMIC

Debido a que las variables latentes son intangibles, para su medición es preciso recurrir a variables que sí pueden ser estimadas, en este caso se usaron las variables socioeconómicas de los individuos. Esta estimación fue llevada a cabo a través de un modelo de múltiples indicadores y múltiples causas independientes (MIMIC), el cual se encuentra clasificado como un tipo de MES, y en donde las variables socioeconómicas (variables explicativas o exógenas) explican a las variables latentes y, estas a su vez explican a los indicadores (variables endógenas).

Antes de realizar la modelación fue necesario llevar transformadas las variables socioeconómicas a variables dicotómicas, con el fin de llevar todo a una misma escala de medición y evitar errores en la estimación de parámetros. En la **Tabla 19** se observan las variables incluidas en los modelos, su connotación en la modelación y su explicación. Todas estas variables toman el valor de 1 si el individuo cumple con la condición y 0 en otro caso, excepto la variable sexo la cual toma el valor de 0 si el individuo es de sexo femenino y 1 si es de sexo masculino.

*Tabla 19. Variables usadas en la modelación*

<b>Variable</b>	<b>Connotación</b>	<b>Explicación</b>
Sexo	sexo	Sexo del individuo
Edad	adole	Edad menor a 18 años
	joven	Edad entre 19 y 29 años
	adulto	Edad entre 39 y 49 años
	mayor	Edad mayor a 50 años
Nivel de ingresos	ingbaj	Ingresos mensuales menores a 1 millón
	ingalt	Ingresos mensuales mayores a 3 millones
Estrato	estbaj	Estratos 1 y 2
	estalt	Estratos 5 y 6
Ocupación	empl	Individuo que se dedica
	estud	Individuo que se desempeña como estudiante
	indep	Individuo que se dedica a oficios independientes
Nivel académico	prof	Nivel de estudios profesional o superior
Acceso a auto	acauto	Acceso a un auto en el hogar

Variable	Connotación	Explicación
Acceso a una bicicleta	acbici	Acceso a una bicicleta en el hogar
Uso de la bicicleta	depor trans	Uso deportivo de la bicicleta Uso de la bicicleta con fines de transporte
Frecuencia de uso de la bicicleta	frecbici	Uso de la bicicleta por lo menos una vez a la semana
Frecuencia de ejercicio	frecejer	Realización de ejercicio mínimo tres veces a la semana
Modo de transporte	auto tpc tm	Auto como modo de transporte más usado TPC como modo de transporte más usado Transmetro como modo de transporte más usado

*Nota:* elaboración propia.

En la **Tabla 20**, se muestran los cuatro modelos MIMIC realizados con sus respectivas variables explicativas y los indicadores de percepción determinados en el CFA. A medida que se fueron realizando modelos, fue necesario ir introduciendo variables y excluyendo otras, teniendo en cuenta los niveles de significancia y su aporte al modelo. De la misma manera, se hizo necesario excluir de la modelación a aquellos indicadores de percepción que generaron valores de residuales muy altos, debido a que afectaban el ajuste global del modelo.

**Tabla 20.** Modelos MIMIC realizados

Modelo	Variables explicativas	Indicadores de percepción
1	sexo, adol, joven, prof, acauto, frecejer, frecbici, depor, ingbaj, ingalt, estbaj, estalt, acbici	P4, P5, P7, P8, P9, P10, P13, P14, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32
2	empl, tpc, sexo, adol, joven, mayor, prof, acauto, frecejer, frecbici, depor, ingbaj, ingalt, estbaj, estalt, acbici, transp, indep, auto	P4, P5, P7, P8, P9, P10, P13, P14, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32
3	tm, tpc, sexo, adulto, joven, mayor, indep, acauto, frecejer, prof, depor, ingbaj, acbici, estbaj, estalt, estud, transp, ingalt, auto	P4, P5, P8, P9, P10, P13, P14, P16, P18, P19, P20, P21, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32
4	sexo, joven, adulto, mayor, estud, indep, acauto, frecejer, prof, depor, ingbaj, ingalt, acbici, estalt, estbaj, transp, auto, tm, tpc	P4, P5, P8, P9, P10, P13, P14, P16, P18, P19, P20, P21, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31

*Nota:* elaboración propia.

En la **Tabla 21** se observan los índices de ajuste para cada uno de los modelos propuestos y se concluye que el mejor modelo resultó siendo el modelo 4, siendo el único modelo que cumplió con los rangos establecidos para todos los índices. Los índices de ajuste global apuntan a que el mejor modelo es el modelo 4, pues  $X^2/\text{gl}$  es menor a 3, y los valores del AIC fueron menor que para los demás modelos. Por otro lado, el BIC apunta a que el mejor modelo es el modelo 1, lo cual se rechaza debido a que los demás índices no llegan al mismo consenso. A excepción del TLI, que no se encuentra dentro del rango recomendado, se reportan buenos resultados para los índices de ajuste comparativo CFI, GFI e IFI, los cuales se encuentran debajo de 0,9. Para el modelo 4, los índices de ajuste predictivo, RMSEA y SRMR se encuentran debajo de los límites, indicando que este modelo reproduce satisfactoriamente el modelo.

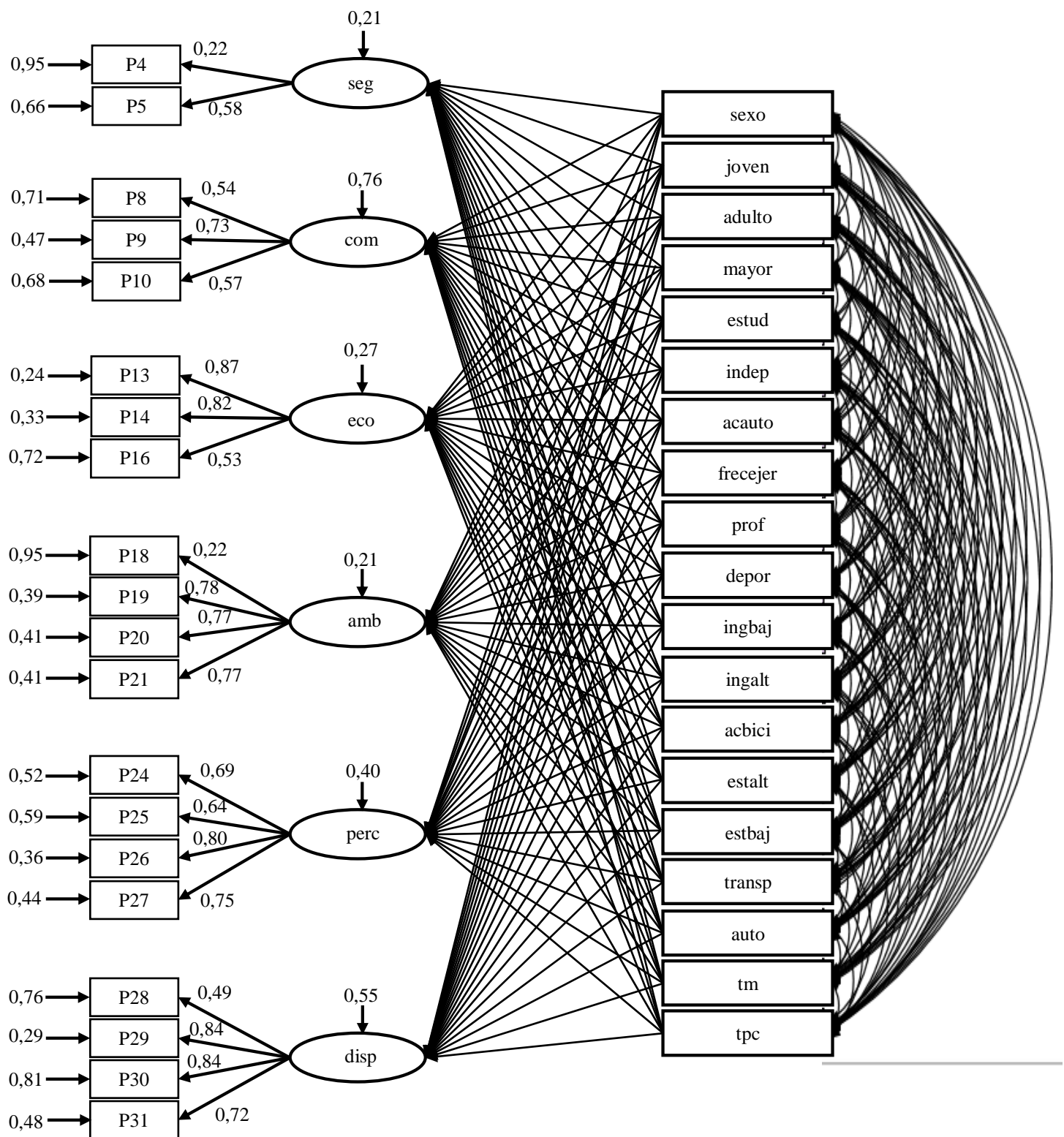
A pesar de que el modelo 4 no haya cumplido con el TLI, se acepta siguiendo las recomendaciones de Schreiber (2017), quien sugiere que para los MES se acepte el modelo si los parámetros  $X^2/\text{gl}$ , CFI, RMSEA y SRMR presentan buenos resultados, ya que estos han mostrado menos dependencia hacia las características del modelo.

**Tabla 21.** Índices de ajuste para los modelos MIMIC

Índices	Modelos			
	1	2	3	4
$X^2/\text{gl}$ ( $\leq 3$ )	2,290	2,138	2,098	2,099
AIC	1628,412	1973,928	1772,096	1603,347
BIC	2589,314	3401,090	3183,041	2998,074
CFI ( $>0,9$ )	0,867	0,881	0,904	0,913
TLI ( $>0,9$ )	0,815	0,820	0,846	0,852
GFI ( $>0,9$ )	0,866	0,871	0,882	0,901
IFI ( $>0,9$ )	0,872	0,888	0,909	0,917
RMSEA ( $<0,05$ )	0,055	0,052	0,051	0,049
SRMR ( $\leq 0,08$ )	0,091	0,080	0,075	0,073

*Nota:* elaboración propia.

En la **Figura 21** se observa la solución estandarizada del modelo MIMIC, en el cual se aprecian las cargas factoriales tanto de los indicadores y las variables explicativas, y los errores asociados a los indicadores y a las variables latentes.

**Figura 21.***Nota:* elaboración propia.

Las cargas factoriales o coeficientes de regresión de las variables explicativas sobre las variables latentes se aprecian en la **Tabla 22**. Un coeficiente de regresión positivo indica que cuando la variable explicativa toma el valor de uno, la variable latente aumentará el valor del coeficiente, por el contrario, cuando el coeficiente de regresión es negativo indica que cuando la variable explicativa toma el valor de uno, la variable latente disminuirá el valor del coeficiente.

**Tabla 22.** *Parámetros de regresión para las variables latentes*

Variable explicativa	Variables latentes					
	seg	eco	com	amb	perc	disp
sexo	-0,044	0,113	-0,009	-0,040	0,086	0,024
joven	-0,277	0,47	0,238	0,131	0,018	-0,062
adulto	-0,145	0,155	0,242	0,220	0,167	0,053
mayor	-0,253	0,145	0,297	0,173	0,094	0,087
estud	-0,155	-0,006	-0,062	0,032	0,035	0,027
indep	0,009	-0,021	-0,035	0,010	0,051	0,067
acauto	-0,192	0,084	0,081	0,052	-0,129	-0,032
acbici	-0,052	-0,044	-0,051	0,004	0,027	0,034
frecejer	-0,059	0,031	0,080	0,070	0,158	0,134
prof	0,047	-0,070	-0,108	-0,064	-0,060	-0,007
depor	0,098	0,018	0,098	0,174	0,345	0,279
transp	0,114	-0,170	-0,052	0,060	0,210	0,137
ingbaj	-0,072	0,152	0,117	0,022	-0,032	0,007
ingalt	0,153	0,005	0,061	0,064	0,004	0,012
estalt	-0,138	0,063	0,062	-0,115	-0,026	-0,131
estbaj	-0,135	-0,164	-0,161	-0,109	-0,015	0,001
auto	-0,002	0,133	0,181	0,032	-0,042	-0,015
tm	-0,259	0,124	0,141	0,030	-0,001	0,003
tpc	-0,095	0,067	0,069	0,202	0,035	0,075

*Nota:* elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos del modelo MIMIC fue posible construir las variables latentes y definir las ecuaciones estructurales expresadas en términos de las variables explicativas. La ecuación general de las variables latentes definidas para esta investigación se muestra en la **Ecuación 15**. El término  $\theta$  representa el coeficiente de regresión de cada las variables explicativas sobre las variables latentes mostrado en la **Tabla 22**.



*Varibale Latente*

$$\begin{aligned}
&= \theta_{\text{sexo}}\text{sexo} + \theta_{\text{joven}}\text{joven} + \theta_{\text{adulto}}\text{adulto} \\
&+ \theta_{\text{mayor}}\text{mayor} + \theta_{\text{estud}}\text{estud} + \theta_{\text{indep}}\text{indep} \\
&+ \theta_{\text{acauto}}\text{acauto} + \theta_{\text{acbici}}\text{acbici} + \theta_{\text{frecejer}}\text{frecejer} \\
&+ \theta_{\text{prof}}\text{prof} + \theta_{\text{depor}}\text{depor} + \theta_{\text{transp}}\text{transp} \\
&+ \theta_{\text{ingbaj}}\text{ingbaj} + \theta_{\text{ingalt}}\text{ingalt} + \theta_{\text{estalt}}\text{estalt} \\
&+ \theta_{\text{estbaj}}\text{estbaj} + \theta_{\text{auto}}\text{auto} + \theta_{\text{tm}}\text{tm} + \theta_{\text{tpc}}\text{tpc}
\end{aligned} \tag{15}$$

Con la definición de las ecuaciones estructurales que rigen a las variables latentes se procede a realizar el modelo integrado de elección y de variables latentes.

**8.4. Modelo ICLV**

Con la inclusión de las variables latentes en los modelos de elección se posibilita el análisis de una gama más amplia de variables que pueden ser determinantes en la elección de la bicicleta. Para el modelo ICLV se usaron los tres tipos de variables definidos: socioeconómicas, latentes y físico-ambientales.

Al igual que las variables socioeconómicas para el modelo MIMIC, las variables físico-ambientales fueron llevadas a términos de variables dicotómicas, las variables pendiente (*pend*), temperatura (*temp*) y tráfico (*traf*) fueron divididas según sus niveles alto y bajo. Las variables tiempo (*tiem*) e infraestructura (*infr*) fueron conservadas como una sola variable.

El primer modelo realizado no incluyó variables latentes y sus resultados se aprecian en la **Tabla 23**. Las variables tenidas en cuenta en el modelo presentan un alto nivel de significancia presentando valores dentro de los rangos establecidos. El coeficiente  $\beta$  da noción de la dirección y la magnitud de la influencia de las variables en la elección de la bicicleta. La variable llamada *trafalt\_seg* se refiere a la situación en la que existe infraestructura tipo segregada y un nivel de

tráfico alto, y por su lado, la variable *trafalt\_banda* hace referencia a la situación en la que hay un nivel de tráfico alto y además existe infraestructura de tipo ciclobanda.

**Tabla 23.** Resultados del modelo sin variables latentes

Variable	$\beta$	Error estándar	Valor-z	P (<0,05)	
tiem	-0,519	0,048	-10,711	0,000	***
infr	0,384	0,057	3,210	0,000	***
pendbaj	0,246	0,090	2,717	0,007	**
pendalt	-0,427	0,101	-4,234	0,000	***
tempbaj	0,225	0,087	2,587	0,010	**
tempalt	-1,255	0,099	-12,623	0,000	***
trafbaj	0,241	0,088	2,735	0,006	**
trafalt	-0,436	0,113	-3,875	0,000	***
trafalt_segre	0,639	0,199	4,289	0,001	**
trafalt_banda	-0,414	0,186	-6,672	0,026	*
sexo	0,243	0,075	3,238	0,001	**
acauto	-0,261	0,079	-3,321	0,001	**
depor	0,426	0,088	4,811	0,000	***
frecbici	0,435	0,102	4,281	0,000	***
frecjejer	0,267	0,079	3,395	0,001	**
tpc	-0,270	0,081	-3,327	0,001	**
transp	1,185	0,180	6,574	0,000	***
Constante	0,070	0,140	0,499	0,617	

\*\*\*: valor de P menor a 0,001.

**Nota:** elaboración propia.

El sexo determina la elección de la bicicleta, pues los individuos de sexo masculino son más propensos a escoger la bicicleta que los de sexo femenino. Otras variables socioeconómicas como edad, ocupación, estrato, nivel de ingresos y nivel educativo no fueron encontradas significativas en la elección de la bicicleta por parte de los habitantes de Barranquilla.

Los resultados indican que entre más sea el tiempo de viaje, la bicicleta pierde su atractivo y la probabilidad que lo individuos la escojan disminuye. Cuando las pendientes, los niveles de tráfico y las temperaturas son percibidas como bajas, las posibilidades de que se escoja la bicicleta aumentan, evidentemente en cuando el caso opuesto, es decir cuando estas variables son percibidas como altas, afectan negativamente a la elección de la bicicleta. Las

personas que realizan frecuentemente ejercicio son más propensas a usar la bicicleta. Aquellos que usan la bicicleta frecuentemente y también los que la usan para fines deportivos o para transportarse, tienen una actitud positiva a usar la bicicleta. En cambio, si un individuo tiene acceso a un auto en el hogar, la probabilidad de que elija la bicicleta disminuye.

Por otro lado, la existencia de una infraestructura para bicicletas aumenta la probabilidad de que un individuo elija la bicicleta, lo cual coincide con los resultados de varias investigaciones, en las cuales se ha encontrado la preferencia por la existencia de infraestructura al manejar bicicleta en vías urbanas. Si el nivel de tráfico es alto y existe infraestructura segregada (ciclovías) se eleva la probabilidad de que se escoja la bicicleta, por el contrario, para el mismo nivel de tráfico, pero con infraestructura tipo ciclobandas, las posibilidades de que un individuo elija la bicicleta disminuyen.

El segundo modelo realizado incluye las variables latentes y es, en esencia, un modelo de tipo ICLV. Los resultados se muestran en la **Tabla 24**. En general las variables *tiem*, *pendbaj*, *pendalt*, *tempbaj*, *tempalt*, *trafbaj* y *traf\_banda* resultaron significativas y sus coeficientes  $\beta$  presentan los mismos signos que para el primer modelo realizado.

**Tabla 24.** Resultados del modelo incluyendo variables latentes

Variable	$\beta$	Error estándar	Valor-z	P (<0,05)	
tiem	-0,502	0,046	-10,897	0,000	***
pendbaj	0,298	0,092	3,247	0,001	**
pendalt	-0,473	0,093	-5,084	0,000	***
tempbaj	0,319	0,091	3,516	0,000	***
tempalt	-1,263	0,095	-13,320	0,000	***
trafbaj	0,249	0,082	3,048	0,002	**
trafalt_banda	-0,566	0,131	-4,323	0,000	***
eco	2,743	0,457	6,000	0,000	***
com	-1,035	0,222	4,653	0,000	***
amb	0,733	0,393	5,234	0,000	***
perc	0,736	0,116	6,368	0,000	***
infr	0,485	0,046	10,514	0,000	***

Variable	$\beta$	Error estándar	Valor-z	P (<0,05)	
sexo	0,532	0,096	5,514	0,000	***
tm	0,258	0,088	2,939	0,003	**
accbici	0,298	0,080	3,702	0,000	***
Constante	-0,505	0,152	-3,327	0,001	***

*Nota:* elaboración propia.

La inclusión de variables latentes generó cambios en los coeficientes  $\beta$  y en los niveles de significancia, razón por la cual algunas variables fueron excluidas del modelo final. Es de anotar, que, al ser introducidas en el modelo, las variables latentes explicaron una gran parte del fenómeno, e incluso tienen más influencia en la elección de la bicicleta. Según los resultados, una percepción positiva sobre el ciclismo y la bicicleta aumenta las posibilidades que los individuos usen la bicicleta, lo cual coincide con lo concluido por Dill & Voros (2007). De la misma manera, si existe una preocupación por el medio ambiente y actitudes pro-ambientales por parte del individuo existe un impacto altamente positivo en la elección de la bicicleta. Este resultado converge con los resultados de otros estudios, como el de Daley, Rissel, & Lloyd (2007) y el de Damant-Sirois & El-Geneidy (2015).

Por otro lado, el deseo de comodidad está relacionado negativamente con la elección de la bicicleta. Entre mayor sea el deseo por comodidad, menor será la probabilidad de que sea escoja la bicicleta. Este resultado puede estar relacionado con el hecho de que los otros modos de transporte sean considerados más cómodos, ya que no se necesita realizar esfuerzo físico para generar movimiento, como es el caso de la bicicleta.

El deseo por economía tiene un coeficiente  $\beta$  más alto de todos, lo que significa que influye en gran medida en la elección de la bicicleta. Al tener signo positivo, significa que la búsqueda de economía se relaciona positivamente con la elección de la bicicleta. La bicicleta es generalmente considerada más económica que otros modos de transporte, pues no necesita

combustible, no debe pagar impuestos, el precio de adquisición es relativamente, entre otros aspectos.

En la **Tabla 25**, se muestran y se comparan los coeficientes de ajuste para los modelos realizados. Para los índices de ajuste global usados para la comparación de los modelos, chi-cuadrado ( $X^2$ ), el AIC y la log-verosimilitud, entre más pequeño sean sus valores indica que existe mejor ajuste de los datos, en este caso, estos parámetros indican que el mejor modelo es el aquel que contiene variables latentes.

Por su lado el test de Hosmer y Lemeshow, indica que tan bien el modelo propuesto explica los datos observados, valores por debajo de 0,05 indican un ajuste pobre del modelo. En este caso, ambos modelos son superiores al límite establecido, siendo el modelo que incluye variables latentes el que presenta mejor resultado.

**Tabla 25.** Índices de ajuste para los modelos ICLV

Índice	Modelo sin variables latentes	Modelo con variables latentes
$X^2$	872,820	859,292
AIC	4487,467	4475,973
Log-verosimilitud	-2220,928	-2227,692
Test de Hosmer y Lemeshow (>0,05)	0,192	0,962

*Nota:* elaboración propia.

## 9. Conclusiones

En el presente estudio fue construido un modelo integrado de elección y variables latentes (ICLV) con estimación secuencial, que combinó un modelo logístico binario y un modelo de ecuaciones estructurales, con el fin de explicar cuáles son los factores más influyentes en la elección de la bicicleta en la ciudad de Barranquilla. Para esto, se recolectó información de una muestra de la población a través de una encuesta que combina características de preferencias declaradas y de preferencias reveladas, acerca de sus características socioeconómicas, percepciones y preferencias con respecto al ciclismo.

Se siguió el algoritmo establecido en la metodología para la realización del modelo y obtención de resultados. Primero fue llevado a cabo un análisis factorial exploratorio (EFA) para extraer las variables latentes, luego se hizo un análisis factorial confirmatorio (CFA) para reafirmar la existencia de variables latentes. Una vez hecho lo anterior, se procedió a realizar un modelo de múltiples indicadores y múltiples causas independientes (MIMIC), el cual permitió la construcción de las ecuaciones estructurales que representan a cada una de las variables latentes. Finalmente, estas ecuaciones son introducidas en el modelo de elección discreta y se obtuvieron los resultados. Para comprobar la fiabilidad de estos modelos, se recurrió al uso de índices de ajuste, los cuales dan una idea de cómo se comporta el modelo y de cómo reproduce los datos.

Entre los resultados se puede destacar que los individuos de sexo masculino son más propensos a elegir la bicicleta, que los individuos de sexo femenino, resultado que no es constante en todos los estudios, sin embargo, es el más común. Otras variables socioeconómicas como la edad, el nivel de ingresos, el estrato y el nivel de estudios no resultaron significativas en el presente estudio, pues no explican de una manera clara la elección de la bicicleta y no le aportan mucho al modelo.

En cuanto a las características físico-ambientales, con pendientes bajas, nivel de tráfico bajo y temperaturas bajas, se aumenta la probabilidad de que un individuo use la bicicleta. La temperatura al ser un factor que no se puede controlar se puede ver como una gran limitante para la popularización del uso de la bicicleta en la ciudad. Según los resultados, la bicicleta pierde atractivo entre más largo sea el tiempo de viaje, esto tal vez esté relacionado con el esfuerzo físico que habría que realizar en un periodo de tiempo largo.

La existencia de una infraestructura para los ciclistas aumenta la probabilidad de que un individuo elija la bicicleta, esto coincide con los resultados de una gran cantidad de estudios. Por otro lado, y como era de esperarse, el tráfico alto disminuye el atractivo de la bicicleta, sin embargo, a pesar de que haya un alto nivel de tráfico, si se garantiza una infraestructura segregada del tráfico automotor, aumenta la probabilidad de que la bicicleta sea usada. Por el contrario, con el mismo nivel de tráfico, pero con infraestructura compartida tipo ciclobanda, la posibilidad de que un individuo escoja la bicicleta disminuye considerablemente. En la ciudad de Barranquilla, la infraestructura ciclista que existe es en su totalidad ciclobandas y con los resultados arrojados por los modelos construidos se concluye que las medidas tomadas hasta ahora no son del todo atractivas para los ciudadanos. Crear una red de ciclovías segregadas sería una opción viable para fomentar el uso de la bicicleta en el distrito, en especial en vías donde el flujo vehicular es alto.

La inclusión de las variables latentes en el modelo de elección generó mejores resultados con respecto a los modelos en los que no se encuentran incluidas. Las variables latentes mostraron una gran relación con la elección de la bicicleta, y en general, son las variables explicativas que más influyen en el fenómeno. Se encontró que las cuatro variables latentes deseo de economía, deseo por comodidad, conciencia ambiental y percepción sobre los viajes en

bicicleta son aquellas que más influyen en la elección de la bicicleta. Una buena percepción acerca de la bicicleta crea disposición y actitudes positivas en el individuo y aumenta la probabilidad de que escoja la bicicleta. De manera similar, un individuo que siente preocupación por el ambiente es más propenso a elegir la bicicleta, pues entiende los impactos que el uso masivo de esta puede traer al ambiente urbano.

Por otro lado, el deseo de economía es aparentemente un gran motivador para la elección de la bicicleta. La bicicleta es generalmente más económica que todos los modos de transporte, tanto a corto como a largo plazo, lo cual es solo uno de la larga lista de beneficios que trae usar la bicicleta. Para el deseo por comodidad fue hallado que influye negativamente en la elección de la bicicleta, lo cual se puede deber a que la bicicleta es considerada menos cómoda que los demás modos de transporte ya que se debe realizar esfuerzo físico al usarla.

Con este estudio se espera que se fijen las bases para una la creación de una planeación ciclo-inclusiva, y que vuelva a la bicicleta una opción real para subsanar los problemas de movilidad y calidad de aire. El desarrollo de políticas exitosas empieza desde el entendimiento de los factores claves que influyen en la elección de la bicicleta, los cuales son propios de cada comunidad y es muy difícil que puedan ser extrapolados a otra.



## 10. Recomendaciones

Con base a los resultados de la investigación, se afirma que las medidas tomadas hasta el momento, en cuanto a infraestructura, no han sido efectivas y no han resultado atractivas para los habitantes de Barranquilla. La existencia de infraestructura tipo ciclobanda se relaciona negativamente con la elección de la bicicleta, cuando el tráfico es percibido como alto. Es necesario que los entes encargados de la planeación promuevan y procuren la construcción de carriles de bicicleta segregados del tráfico automotor, en especial en vías arterias y semi-arterias, las cuales presentan flujo de tráfico considerablemente más alto que otras vías. La infraestructura de tipo ciclobanda es recomendada para vías de tráfico bajo, en donde la posibilidad de conflictos entre bicicletas y vehículos motorizados es baja.

Teniendo en cuenta que altas temperaturas desincentivan el uso de la bicicleta y que la temperatura es un factor que no se puede controlar, se recomienda la realización de programas de arborización junto a las ciclovías lo cual reduciría la sensación térmica y beneficiaría también a los peatones. La arborización y la infraestructura ciclista podrían ser ubicadas en los espacios en el andén que hoy día son usados para parqueaderos de vehículos particulares, con el fin de promover el transporte sostenible y no motorizado, y al mismo tiempo desincentivar el uso de transporte motorizado, en especial el particular.

Como complemento a la presente investigación y para entender de una mejor manera la elección de la bicicleta en el distrito de Barranquilla y diseñar políticas de una manera coherente, se aconseja la realización de los siguientes tipos de estudio:

- **Estudio de estimación de demanda** de viajes en bicicleta en la ciudad, que incluya líneas de deseo y proyección de la demanda. A partir de este estudio, se puede crear una planeación precisa del trazado de un sistema de bicicleta públicas.

- **Estudio de elección de la bicicleta con otros modos de transporte**, el cual confronta la elección individual entre varias opciones de viaje, teniendo en cuenta parámetros como el tiempo, el costo, los beneficios para la salud, entre otros. Es un estudio útil, debido a que serviría para definir que se necesita realizar para que las personas cambien su modo de transporte habitual y empiecen a usar la bicicleta.
- **Estudio de segmentación de mercado** orientado a la elección de la bicicleta, el cual puede incluir variables latentes. La utilidad de este estudio radica con sus resultados, es posible definir los factores que afectan a diferentes segmentos de la población y permite la definición de políticas apropiadas para la población de una ciudad en específico.

### Referencias

- Aarts, M.-J., Mathijssen, J. J. P., van Oers, J. A. M., & Schuit, A. J. (2013). Associations Between Environmental Characteristics and Active Commuting to School Among Children: a Cross-sectional Study. *International Journal of Behavioral Medicine*, 20(4), 538-555. <https://doi.org/10.1007/s12529-012-9271-0>
- Akar, G., & Clifton, K. (2009). Influence of Individual Perceptions and Bicycle Infrastructure on Decision to Bike. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2140, 165-172. <https://doi.org/10.3141/2140-18>
- Allaman, P. M., Tardiff, T. J., & Dunbar, F. C. (1982). NEW APPROACHES TO UNDERSTANDING TRAVEL BEHAVIOR (Vol. NCHRP Report, p. 142p). Presentado en Transportation Research Board, Washington, D.C., Estados Unidos. Recuperado a partir de <https://trid.trb.org/view/186872>
- Apasnore, P., Ismail, K., & Kassim, A. (2017). Bicycle-vehicle interactions at mid-sections of mixed traffic streets: Examining passing distance and bicycle comfort perception. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.003>
- Arbeláez-Arenas, O., Córdoba-Maquilón, J., & Sarmiento-Ordosgoitia, I. (2017). Infrastructure provision and its effect on bicycle mode choice. Presentado en Paper submitted for presentation at the 5th International Choice Modelling Conference, Cape Town, Sudáfrica. Recuperado a partir de <http://www.icmconference.org.uk/index.php/icmc/ICMC2017/paper/viewFile/1379/422>
- Ashok, K., Dillon, W. R., & Yuan, S. (2002). Extending Discrete Choice Models to Incorporate Attitudinal and Other Latent Variables. *Journal of Marketing Research*, 39(1), 31-46.

Barberan, A., de Abreu e Silva, J., & Monzon, A. (2017). Factors influencing bicycle use: a binary choice model with panel data. *Transportation Research Procedia*, 27, 253-260.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.097>

Barberan, A., & Monzon, A. (2016). How did Bicycle Share Increase in Vitoria-Gasteiz? *Transportation Research Procedia*, 18, 312-319.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.042>

Barnes, G., & Krizek, K. (2005). Estimating Bicycling Demand. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1939, 45-51.

<https://doi.org/10.3141/1939-06>

Batterman, S., Ganguly, R., Isakov, V., Burke, J., Arunachalam, S., Snyder, M., ... Lewis, T. (2014). Dispersion Modeling of Traffic-Related Air Pollutant Exposures and Health Effects Among Children with Asthma in Detroit, Michigan. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2452, 105-113.

<https://doi.org/10.3141/2452-13>

Ben-Akiva, M., Mcfadden, D., Train, K., Walker, J., Bhat, C., Bierlaire, M., ... Munizaga, M. A. (2002). Hybrid Choice Models: Progress and Challenges. *Marketing Letters*, 13(3), 163-175. <https://doi.org/10.1023/A:1020254301302>

Ben-Akiva, M., Walker, J., Bernardino, A. T., Gopinath, D. A., Morikawa, T., & Polydoropoulou, A. (2002). Integration of Choice and Latent Variable Models. En *In Perpetual Motion* (pp. 431-470). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044044-6/50022-X>

- Bergantino, A. S., Bierlaire, M., Catalano, M., Migliore, M., & Amoroso, S. (2013). Taste heterogeneity and latent preferences in the choice behaviour of freight transport operators. *Transport Policy*, 30, 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.08.002>
- Bhat, C. R., Dubey, S. K., & Nagel, K. (2015). Introducing non-normality of latent psychological constructs in choice modeling with an application to bicyclist route choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 78, 341-363. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.04.005>
- Banco Internacional de Desarrollo (BID). (2013). CÓMO IMPULSAR EL CICLISMO URBANO: Recomendaciones para las instituciones de América Latina y el Caribe. Recuperado a partir de <https://www.iadb.org/es/project/RG-T2219>
- Bolduc, D., Boucher, N., & Alvarez-Daziano, R. (2008). Hybrid Choice Modeling of New Technologies for Car Choice in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2082, 63-71. <https://doi.org/10.3141/2082-08>
- Bollen, K. A. (1989). *Structural Equations with Latent Variables: Bollen/Structural Equations with Latent Variables*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118619179>
- Bollen, K. A. (2002). Latent Variables in Psychology and the Social Sciences. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 605-634. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135239>
- Bollen, K., & Lennox, R. (1991). Conventional wisdom on measurement: A structural equation perspective. *Psychological Bulletin*, 110(2), 305-314. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.110.2.305>

- Börjesson, M., & Eliasson, J. (2012). The value of time and external benefits in bicycle appraisal. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(4), 673-683.  
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.01.006>
- Buehler, R. (2012). Determinants of bicycle commuting in the Washington, DC region: The role of bicycle parking, cyclist showers, and free car parking at work. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(7), 525-531.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.06.003>
- Cai, L. (2012). Latent variable modeling. *Shanghai Arch Psychiatry*, 24(2), 118–120.  
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0829.2012.02.010>
- Carvajal, J. H., & Ruiz P., G. L. (2006). *INFORME DE VISITA REALIZADO AL SECTOR CAMPO ALEGRE Y OTROS SECTORES DE LAS LADERAS OCCIDENTALES DE BARRANQUILLA DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO*. Bogotá D.C., Colombia: Ministerio de Minas y Energía. Recuperado a partir de  
[http://www.barranquilla.gov.co/documentos/pot/anexos/Anexo%2017%20Informe%20INGEOMINAS%20\(2006\).pdf](http://www.barranquilla.gov.co/documentos/pot/anexos/Anexo%2017%20Informe%20INGEOMINAS%20(2006).pdf)
- Chae, D., Jung, J., & Sohn, K. (2018). Facilitating an expectation-maximization (EM) algorithm to solve an integrated choice and latent variable (ICLV) model with fully correlated latent variables. *Journal of Choice Modelling*, 26, 64-79.  
<https://doi.org/10.1016/j.jocm.2017.08.001>
- Chen, H.-Y. W., & Donmez, B. (2016). What drives technology-based distractions? A structural equation model on social-psychological factors of technology-based driver distraction engagement. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 166-174.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.015>

- Chen, Y., Xin, F., Ye, Y., & Zhang, Y. (2018). Bike-Share System Users' Satisfaction Assessment Based on a Structural Equation Model. Presentado en 17th COTA International Conference of Transportation Professionals, Shanghai, China.  
<https://doi.org/10.1061/9780784480915.297>
- Crane, M., Rissel, C., Standen, C., Ellison, A., Ellison, R., Wen, L. M., & Greaves, S. (2017). Longitudinal evaluation of travel and health outcomes in relation to new bicycle infrastructure, Sydney, Australia. *Journal of Transport & Health*, 6, 386-395.  
<https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.07.002>
- Daley, M., Rissel, C., & Lloyd, B. (2007). All dressed up and nowhere to go? A qualitative research study of the barriers and enablers to cycling in inner Sydney. *Road and Transport Research*, 16(4), 42-52.
- Damant-Sirois, G., & El-Geneidy, A. M. (2015). Who cycles more? Determining cycling frequency through a segmentation approach in Montreal, Canada. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 113-125.  
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.03.028>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2010). Proyección de población por municipio 2006 - 2025. Recuperado a partir de  
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Daziano, R. A., & Bolduc, D. (2011). Incorporating pro-environmental preferences towards green automobile technologies through a Bayesian hybrid choice model. *Transportmetrica*, 1-33. <https://doi.org/10.1080/18128602.2010.524173>

- Debruijn, G., Kremers, S., Schaalma, H., Vanmechelen, W., & Brug, J. (2005). Determinants of adolescent bicycle use for transportation and snacking behavior. *Preventive Medicine*, 40(6), 658-667. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2004.09.003>
- Dill, J., & Voros, K. (2007). Factors Affecting Bicycling Demand: Initial Survey Findings from the Portland, Oregon, Region. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2031, 9-17. <https://doi.org/10.3141/2031-02>
- Dissanayake, D., & Morikawa, T. (2010). Investigating household vehicle ownership, mode choice and trip sharing decisions using a combined revealed preference/stated preference Nested Logit model: case study in Bangkok Metropolitan Region. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.07.003>
- Eash, R. (1999). Destination and Mode Choice Models for Nonmotorized Travel. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1674, 1-8. <https://doi.org/10.3141/1674-01>
- European Cyclist Federation (ECF). (2014). COMMUTING: WHO PAYS THE BILL? Overview of fiscal regimes for commuting in Europe and recommendations for establishing a level playing-field. Recuperado a partir de [https://ecf.com/sites/ecf.com/files/141117-Commuting-Who-Pays-The-Bill\\_2.pdf](https://ecf.com/sites/ecf.com/files/141117-Commuting-Who-Pays-The-Bill_2.pdf)
- Emond, C. R., & Handy, S. L. (2012). Factors associated with bicycling to high school: insights from Davis, CA. *Journal of Transport Geography*, 20(1), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.07.008>
- Eriksson, L., & Forward, S. E. (2011). Is the intention to travel in a pro-environmental manner and the intention to use the car determined by different factors? *Transportation Research*



*Part D: Transport and Environment*, 16(5), 372-376.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.02.003>

Fernández Aráuz, A. (2015). Aplicación del análisis factorial confirmatorio a un modelo de medición del rendimiento académico en lectura. *Revista de Ciencias Económicas*, 33(2), 39. <https://doi.org/10.15517/rce.v33i2.22216>

Fernández-Heredia, Á., Monzón, A., & Jara-Díaz, S. (2014). Understanding cyclists' perceptions, keys for a successful bicycle promotion. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 63, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.02.013>

Flynn, B. S., Dana, G. S., Sears, J., & Aultman-Hall, L. (2012). Weather factor impacts on commuting to work by bicycle. *Preventive Medicine*, 54(2), 122-124. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.11.002>

Frank, L., Bradley, M., Kavage, S., Chapman, J., & Lawton, T. K. (2007). Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice. *Transportation*, 35(1), 37-54. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9136-6>

Fu, L., & Farber, S. (2017). Bicycling frequency: A study of preferences and travel behavior in Salt Lake City, Utah. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 101, 30-50. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.004>

Golob, T. F. (2003). Structural equation modeling for travel behavior research. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(01\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(01)00046-7)

González Marrero, R. M., Martínez Budría, E., & Esquivel Ramos, A. (2012). Contraste de las preferencias declaradas con preferencias reveladas. El caso de los alumnos de la

Universidad de La Laguna ante la implantación del tranvía. *Metodología de Encuestas*, 14, 65-80.

Great Schools Partnership. (2015). AGGREGATE DATA. Recuperado a partir de

<https://www.edglossary.org/aggregate-data/>

Griffin, G. P., & Jiao, J. (2015). Where does bicycling for health happen? Analysing volunteered geographic information through place and plexus. *Journal of Transport & Health*, 2(2), 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.12.001>

Habib, K. N., Mann, J., Mahmoud, M., & Weiss, A. (2014). Synopsis of bicycle demand in the City of Toronto: Investigating the effects of perception, consciousness and comfortability on the purpose of biking and bike ownership. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, 67-80. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.09.012>

Hagenauer, J., & Helbich, M. (2017). A comparative study of machine learning classifiers for modeling travel mode choice. *Expert Systems with Applications*, 78, 273-282. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.057>

Hamre, A., & Buehler, R. (2014). Commuter Mode Choice and Free Car Parking, Public Transportation Benefits, Showers/Lockers, and Bike Parking at Work: Evidence from the Washington, DC Region. *Journal of Public Transportation*, 17(2), 67-91. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.17.2.4>

Handy, S. L., & Xing, Y. (2011). Factors Correlated with Bicycle Commuting: A Study in Six Small U.S. Cities. *International Journal of Sustainable Transportation*, 5(2), 91-110. <https://doi.org/10.1080/15568310903514789>

- Hazen, B., Overstreet, R., & Wang, Y. (2015). Predicting Public Bicycle Adoption Using the Technology Acceptance Model. *Sustainability*, 7(12), 14558-14573.  
<https://doi.org/10.3390/su71114558>
- Heesch, K. C., Giles-Corti, B., & Turrell, G. (2014). Cycling for transport and recreation: Associations with socio-economic position, environmental perceptions, and psychological disposition. *Preventive Medicine*, 63, 29-35.  
<https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.03.003>
- Heinen, E., Maat, K., & van Wee, B. (2013). The effect of work-related factors on the bicycle commute mode choice in the Netherlands. *Transportation*, 40(1), 23-43.  
<https://doi.org/10.1007/s11116-012-9399-4>
- Heinen, E., Maat, K., & Wee, B. van. (2011). The role of attitudes toward characteristics of bicycle commuting on the choice to cycle to work over various distances. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(2), 102-109.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.08.010>
- Heinen, E., van Wee, B., & Maat, K. (2010). Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature. *Transport Reviews*, 30(1), 59-96. <https://doi.org/10.1080/01441640903187001>
- Huang, L.-S., & Su, W.-R. (2018). Exploration on the Behavior Patterns of Public Bicycle Users in Kaohsiung City from the Perspective of Theory of Planned Behavior and Structural Equation Model. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints201802.0088.v1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). Promedios Precipitación y Temperatura media. Promedio de los años 1981-2010. Recuperado a partir de <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Promedios-Precipitaci-n-y-Temperatura-media-Promed/nsxu-h2dh>

- Instituto para Políticas de Transporte y Desarrollo (ITPD), & Interface for Cycling Experience (I-CE). (2011). *Ciclo ciudades: Manual integral de movilidad ciclista para ciudades mexicanas (Tomo IV)* (M. Pérez Herrera). Ciudad de México, México. Recuperado a partir de <http://ciclociudades.mx/wp-content/uploads/2015/10/Manual-Tomo-IV.pdf>
- Jin, J., & Kim, J. (2012). Strategies for the Improvement of Historic Sites Bike Tour Using Structural Equation Modeling. En T. Kim, C. Ramos, H. Kim, A. Kiumi, S. Mohammed, & D. Ślęzak (Eds.), *Computer Applications for Software Engineering, Disaster Recovery, and Business Continuity* (Vol. 340, pp. 280-286). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35267-6\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35267-6_36)
- Kamargianni, M., & Polydoropoulou, A. (2013). Hybrid Choice Model to Investigate Effects of Teenagers' Attitudes Toward Walking and Cycling on Mode Choice Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2382, 151-161. <https://doi.org/10.3141/2382-17>
- Katz, R. J. (1997). *Demand for bicycle use : a behavioural framework and empirical analysis for urban NSW* (Doctoral dissertation). University of Sydney, Australia. Recuperado a partir de <https://trove.nla.gov.au/work/23909316?q&versionId=28915044>
- Kim, J., Choi, K., Kim, S., & Fujii, S. (2017). How to promote sustainable public bike system from a psychological perspective? *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(4), 272-281. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1252450>
- Lee, J.-Y., Chung, J.-H., & Son, B. (2008). Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models. *Accident Analysis & Prevention*, 40(6), 1955-1963. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.08.006>

- Li, Z., Wang, W., Liu, P., & Ragland, D. R. (2012). Physical environments influencing bicyclists' perception of comfort on separated and on-street bicycle facilities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(3), 256-261. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.12.001>
- Li, Z., Wang, W., Yang, C., & Jiang, G. (2013). Exploring the causal relationship between bicycle choice and trip chain pattern. *Transport Policy*, 29, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.06.001>
- Li, Z., Wang, W., Yang, C., & Ragland, D. R. (2013). Bicycle commuting market analysis using attitudinal market segmentation approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 47, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.017>
- Limtanakool, N., Dijst, M., & Schwanen, T. (2006). The influence of socioeconomic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium- and longer-distance trips. *Journal of Transport Geography*, 14(5), 327-341. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2005.06.004>
- Lyon, P. K. (1981). *Time-dependent structural equations modelling of the relationships between attitudes and discrete choices behavior of transportation consumers* (Dissertation). Northwestern University, Washington, D.C., Estados Unidos. Recuperado a partir de <https://trid.trb.org/view/177237>
- Ma, L., & Dill, J. (2015). Associations between the objective and perceived built environment and bicycling for transportation. *Journal of Transport & Health*, 2(2), 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2015.03.002>

- Ma, L., Dill, J., & Mohr, C. (2014). The objective versus the perceived environment: what matters for bicycling? *Transportation*, 41(6), 1135-1152. <https://doi.org/10.1007/s11116-014-9520-y>
- Maldonado-Hinarejos, R., Sivakumar, A., & Polak, J. W. (2014). Exploring the role of individual attitudes and perceptions in predicting the demand for cycling: a hybrid choice modelling approach. *Transportation*, 41(6), 1287-1304. <https://doi.org/10.1007/s11116-014-9551-4>
- McFadden, D. (1986). The Choice Theory Approach to Market Research. *Marketing Science*, 5(4), 275-297. <https://doi.org/10.1287/mksc.5.4.275>
- Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2010). Route choice of cyclists in Zurich. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(9), 754-765. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.07.008>
- Milakis, D., & van Wee, B. (2018). “For me it is always like half an hour”: Exploring the acceptable travel time concept in the US and European contexts. *Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.02.001>
- Ministerio de Transporte. (2016). *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas* (C. Pardo & A. Sanz). Bogotá D.C., Colombia. Recuperado a partir de <http://www.despacio.org/wp-content/uploads/2016/04/Guia-cicloinfraestructura-Colombia-20160413-ISBN%20digital.pdf>
- Mota, J., Gomes, H., Almeida, M., Ribeiro, J. C., Carvalho, J., & Santos, M. P. (2007). Active versus passive transportation to school—differences in screen time, socio-economic position and perceived environmental characteristics in adolescent girls. *Annals of Human Biology*, 34(3), 273-282. <https://doi.org/10.1080/03014460701308615>

- Motoaki, Y., & Daziano, R. A. (2015). A hybrid-choice latent-class model for the analysis of the effects of weather on cycling demand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 75, 217-230. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.03.017>
- Moudon, A. V., Lee, C., Cheadle, A. D., Collier, C. W., Johnson, D., Schmid, T. L., & Weather, R. D. (2005). Cycling and the built environment, a US perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(3), 245-261. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.04.001>
- Mraihi, R., Harizi, R., Mraihi, T., & Bouzidi, M. T. (2015). Urban air pollution and urban daily mobility in large Tunisia's cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 315-320. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.022>
- Muhs, C. D., & Clifton, K. J. (2014). Bicycling is different: Built environment relationships to non-work travel. Presentado en 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, Estados Unidos.
- Municipalidad de Lima. (2017). *Manual de Normas Técnicas para la Construcción de Ciclovías y Guía De Circulación de Bicicletas* (P. Calderón, C. Pardo, J. J. Arrué). Lima, Perú. Recuperado a partir de <http://www.despacio.org/wp-content/uploads/2017/04/Manual-Lima20170421.pdf>
- Muñoz, B., Monzon, A., & Daziano, R. A. (2016). The Increasing Role of Latent Variables in Modelling Bicycle Mode Choice. *Transport Reviews*, 36(6), 737-771. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1162874>
- Muñoz, B., Monzon, A., & Lois, D. (2013). Cycling Habits and Other Psychological Variables Affecting Commuting by Bicycle in Madrid, Spain. *Transportation Research Record*:

- Journal of the Transportation Research Board*, 2382, 1-9. <https://doi.org/10.3141/2382-01>
- Murphy, K. M., & Topel, R. H. (1985). Estimation and Inference in Two-Step Econometric Models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 3(4), 370.  
<https://doi.org/10.2307/1391724>
- Noland, R. B., & Kunreuther, H. (1995). Short-run and long-run policies for increasing bicycle transportation for daily commuter trips. *Transport Policy*, 2(1), 67-79.  
[https://doi.org/10.1016/0967-070X\(95\)93248-W](https://doi.org/10.1016/0967-070X(95)93248-W)
- Oh, J. S., Kim, M. S., & Lee, C. H. (2014). A Study on Factors Affecting the Satisfaction of Public Bicycle System. *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 16(2), 107-118.  
<https://doi.org/10.7855/IJHE.2014.16.2.107>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014). *Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012*. Recuperado a partir de  
[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AAP\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf)
- Ortúzar, J. de D. (2015). *Modelos de demanda de transporte*. Santiago de Chile, Chile: Alfaomega, Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport: Ortúzar/Modelling Transport*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.  
<https://doi.org/10.1002/9781119993308>
- Outwater, M., Castleberry, S., Shiftan, Y., Ben-Akiva, M., Shuang Zhou, Y., & Kuppam, A. (2003). Attitudinal Market Segmentation Approach to Mode Choice and Ridership



- Forecasting: Structural Equation Modeling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1854, 32-42. <https://doi.org/10.3141/1854-04>
- Parkin, J., Wardman, M., & Page, M. (2007). Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data. *Transportation*, 35(1), 93-109. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9137-5>
- Paulssen, M., Temme, D., Vij, A., & Walker, J. L. (2014). Values, attitudes and travel behavior: a hierarchical latent variable mixed logit model of travel mode choice. *Transportation*, 41(4), 873-888. <https://doi.org/10.1007/s11116-013-9504-3>
- Piatkowski, D. P., & Marshall, W. E. (2015). Not all prospective bicyclists are created equal: The role of attitudes, socio-demographics, and the built environment in bicycle commuting. *Travel Behaviour and Society*, 2(3), 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2015.02.001>
- Pinjari, A., Eluru, N., Bhat, C., Pendyala, R., & Spissu, E. (2008). Joint Model of Choice of Residential Neighborhood and Bicycle Ownership: Accounting for Self-Selection and Unobserved Heterogeneity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2082, 17-26. <https://doi.org/10.3141/2082-03>
- Pucher, J., & Buehler, R. (2006). Why Canadians cycle more than Americans: A comparative analysis of bicycling trends and policies. *Transport Policy*, 13(3), 265-279. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.11.001>
- Pucher, J., Dill, J., & Handy, S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine*, 50, S106-S125. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2009.07.028>

- Ranaiefar, F., & Rixey, R. A. (2016). Bike Sharing Ridership Forecast using Structural Equation Modeling. Presentado en TRB 2016 Annual Meeting, Washington, D.C., Estados Unidos. Recuperado a partir de [https://nacto.org/wp-content/uploads/2016/02/2016\\_Ranaiefar-and-Rixey\\_Bikesharing-Ridersehip-Forecast-Using-Structural-Equation-Modeling.pdf](https://nacto.org/wp-content/uploads/2016/02/2016_Ranaiefar-and-Rixey_Bikesharing-Ridersehip-Forecast-Using-Structural-Equation-Modeling.pdf)
- Raveau, S., Ortúzar, J., & Yáñez, M. F. (2010). Análisis de los Enfoques Secuencial y Simultáneo para la Estimación de Modelos Híbridos de Elección Discreta. *INGENIERÍA DE TRANSPORTE*, 14(1), 26-31.
- Rodríguez, D. A., & Joo, J. (2004). The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(2), 151-173. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2003.11.001>
- Roorda, M. J., Passmore, D., & Miller, E. J. (2009). Including Minor Modes of Transport in a Tour-Based Mode Choice Model with Household Interactions. *Journal of Transportation Engineering*, 135(12), 935-945. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000072](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000072)
- Sadia, R., Bekhor, S., & Polus, A. (2017). Structural equations modelling of drivers' speed selection using environmental, driver, and risk factors. *Accident Analysis & Prevention*. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.08.034>
- Sahlqvist, S. L., & Heesch, K. C. (2012). Characteristics of utility cyclists in Queensland, Australia: an examination of the associations between individual, social, and environmental factors and utility cycling. *Journal of Physical Activity & Health*, 9(6), 818-828.
- Schreiber, J. B. (2017). Update to core reporting practices in structural equation modeling. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 13(3), 634-643. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2016.06.006>

- Scott-Parker, B., Watson, B., King, M. J., & Hyde, M. K. (2013). A further exploration of sensation seeking propensity, reward sensitivity, depression, anxiety, and the risky behaviour of young novice drivers in a structural equation model. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 465-471. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.027>
- Secretaría Distrital de Tránsito y Seguridad Vial (SDTSV). (2017a). Aforos vehiculares y peatonales Enero - Julio 2017. Recuperado a partir de [http://www.barranquilla.gov.co/transito/index.php?option=com\\_content&view=article&id=11359:aforos-vehiculares-y-peatonales&catid=8:semaforizacion](http://www.barranquilla.gov.co/transito/index.php?option=com_content&view=article&id=11359:aforos-vehiculares-y-peatonales&catid=8:semaforizacion)
- Secretaría Distrital de Tránsito y Seguridad Vial (SDTSV). (2017b). Boletín 006: Orientadores de Movilidad listos para seguir apoyando el Tránsito de la ciudad. Recuperado a partir de [http://www.barranquilla.gov.co/transito/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12553:2017-01-16-22-54-34&catid=36:boletines&Itemid=30](http://www.barranquilla.gov.co/transito/index.php?option=com_content&view=article&id=12553:2017-01-16-22-54-34&catid=36:boletines&Itemid=30)
- Secretaría Distrital de Tránsito y Seguridad Vial (SDTSV). (2018). Parque Automotor a Febrero 28 de 2018. Recuperado a partir de [http://www.barranquilla.gov.co/transito/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1686&Itemid=38](http://www.barranquilla.gov.co/transito/index.php?option=com_content&view=article&id=1686&Itemid=38)
- Sigurdardottir, S. B., Kaplan, S., Møller, M., & Teasdale, T. W. (2013). Understanding adolescents' intentions to commute by car or bicycle as adults. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 24, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.04.008>
- Taylor, D., & Mahmassani, H. (1996). Analysis of Stated Preferences for Intermodal Bicycle-Transit Interfaces. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1556, 86-95. <https://doi.org/10.3141/1556-11>

- Teschke, K., Reynolds, C., Ries, F., Gouge, B., & Winters, M. (2012). Bicycling: Health Risk or Benefit? *University of British Columbia Medical Journal*, 3(2), 6-11.
- Thorhauge, M., Rich, J., & Cherchi, E. (2015). *Departure time choice: Modelling individual preferences, intention and constraints* (Doctoral dissertation). Technical University of Denmark, Transport, Denmark. Recuperado a partir de [http://orbit.dtu.dk/files/116811052/Mikkel\\_Thorhauge\\_PhD\\_m\\_omslag.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/116811052/Mikkel_Thorhauge_PhD_m_omslag.pdf)
- Titze, S., Stronegger, W. J., Janschitz, S., & Oja, P. (2007). Environmental, social, and personal correlates of cycling for transportation in a student population. *Journal of Physical Activity & Health*, 4(1), 66-79.
- Titze, S., Stronegger, W. J., Janschitz, S., & Oja, P. (2008). Association of built-environment, social-environment and personal factors with bicycling as a mode of transportation among Austrian city dwellers. *Preventive Medicine*, 47(3), 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2008.02.019>
- Train, K. E., McFadden, D. L., & Goett, A. A. (1987). Consumer Attitudes and Voluntary Rate Schedules for Public Utilities. *The Review of Economics and Statistics*, 69(3), 383. <https://doi.org/10.2307/1925525>
- van Wee, B., Rietveld, P., & Meurs, H. (2006). Is average daily travel time expenditure constant? In search of explanations for an increase in average travel time. *Journal of Transport Geography*, 14(2), 109-122. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2005.06.003>
- Verma, M., Rahul, T. M., Reddy, P. V., & Verma, A. (2016). The factors influencing bicycling in the Bangalore city. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 89, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.04.006>

- Vij, A., & Walker, J. L. (2016). How, when and why integrated choice and latent variable models are latently useful. *Transportation Research Part B: Methodological*, 90, 192-217. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.04.021>
- Vredin Johansson, M., Heldt, T., & Johansson, P. (2005). Latent Variables in a Travel Mode Choice Model: Attitudinal and Behavioural Indicator Variables. *Working Paper Series*, 5, Uppsala University, Department of Economics.
- Walker, J. L. (2001, febrero). *Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables* (Doctoral dissertation). Massachusetts Institute of Technology, Estados Unidos. Recuperado a partir de <https://its.mit.edu/sites/default/files/documents/WalkerPhD.pdf>
- Wardman, M., Tight, M., & Page, M. (2007). Factors influencing the propensity to cycle to work. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(4), 339-350. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.09.011>
- Washington, S., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. L. (2003). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.
- Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2010). Built environment influences on healthy transportation choices: bicycling versus driving. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 87(6), 969-993. <https://doi.org/10.1007/s11524-010-9509-6>
- Winters, M., Davidson, G., Kao, D., & Teschke, K. (2011). Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. *Transportation*, 38(1), 153-168. <https://doi.org/10.1007/s11116-010-9284-y>

- Yáñez, M. F., Raveau, S., & Ortúzar, J. de D. (2010). Inclusion of latent variables in Mixed Logit models: Modelling and forecasting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(9), 744-753. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.07.007>
- Yu, M., Ye, M., Yang, C., Gong, L., Hu, Q., & Fan, W. D. (2015). Modeling the Switch Tendency for Cyclists and Non-cyclists by Using Market Segmentation Approach. Presentado en TRB 94th Annual Meeting, Washington, D.C., Estados Unidos. Recuperado a partir de <https://trid.trb.org/view/1337711>

## Anexos

## Anexo 1. Encuesta tipo 1

# **INVESTIGACIÓN SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL USO DE LA BICICLETA POR PARTE DE LOS HABITANTES DEL DISTRITO DE BARRANQUILLA**













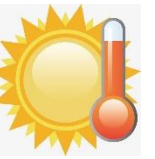




PARTE 1 – INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA						
<b>Sexo:</b> <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino		<b>Edad:</b> _____		<b>Ocupación:</b> _____		
		<b>Estrato:</b> _____		<b>Barrio de residencia:</b> _____		
<b>Nivel académico:</b>		<input type="checkbox"/> Primario	<input type="checkbox"/> Técnico	<input type="checkbox"/> Profesional	<input type="checkbox"/> Sin estudios	
		<input type="checkbox"/> Bachiller	<input type="checkbox"/> Tecnólogo	<input type="checkbox"/> Posgrado		
<b>Ingresos mensuales:</b>		<input type="checkbox"/> Menos de 1 millón <input type="checkbox"/> Entre 1 y 3 millones <input type="checkbox"/> Más de 3 millones				
<b>¿Cuál es el modo de transporte que usa para llegar a su trabajo/lugar de estudio?</b> <input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Transmetro <input type="checkbox"/> Uber/Cabify <input type="checkbox"/> Buseta de servicio público <input type="checkbox"/> Moto <input type="checkbox"/> Taxi <input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> A pie <input type="checkbox"/> Ruta corporativa/empresarial <input type="checkbox"/> Otro						
<b>Su tiempo aproximado de viaje hacia su trabajo/estudio en minutos es de:</b> _____						
<b>¿Usted tiene...</b>		<b>...acceso a un auto en su hogar?</b>		<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
		<b>...acceso a una bicicleta en su hogar?</b>		<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
		<b>...licencia de conducir?</b>		<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No		
<b>¿Cuál es el principal uso que usted le da a la bicicleta?</b> _____						
<b>¿Con que frecuencia usa la bicicleta?</b> <input type="checkbox"/> Diario <input type="checkbox"/> Por lo menos una vez a la semana <input type="checkbox"/> Por lo menos una vez al mes <input type="checkbox"/> Nunca				<b>¿Con que frecuencia realiza ejercicio?</b> <input type="checkbox"/> Diario <input type="checkbox"/> De 2 a 3 veces por semana <input type="checkbox"/> Una vez a la semana <input type="checkbox"/> Nunca		
PARTE 2 – EVALUACIÓN DE PERCEPCIÓN						
Valore las siguientes proposiciones teniendo en cuenta la siguiente escala: (1) Muy en desacuerdo, (2) En desacuerdo, (3) Neutral, (4) De acuerdo, (5) Muy de acuerdo						
No.	Situación	1	2	3	4	5
1	Me gusta que mi opción de viaje esté disponible inmediatamente					
2	Siempre elijo la opción de viaje que se demore menos					
3	Me preocupo por llegar temprano a mi lugar de destino					
4	Estoy atento(a) a todo a mi alrededor cuando uso la vía					
5	Usando la bicicleta me expongo más a un robo					
6	Me parece igual de seguro usar la bicicleta en vías con bajo tráfico y en vías con alto tráfico					
7	Me preocupa accidentarme mientras voy en bicicleta					
8	Prefiero viajar en bus o carro que en bicicleta o ir a pie en días lluviosos					
9	Prefiero modos de transporte con aire acondicionado					
10	Prefiero realizar menos esfuerzo físico al movilizarme					
11	Me da igual llegar sudado(a) a mi lugar de destino					
12	Me parece estresante usar la bicicleta					
13	No me importa pagar más dinero con el fin de ahorrar tiempo de viaje					
14	No me importa pagar más dinero con tal de viajar más cómodamente					






























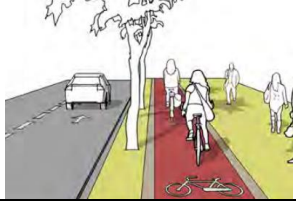
15	No le doy importancia al alza en la tarifa de los servicios de transporte					
16	Elijo cualquier opción de viaje sin importar el costo					
17	Se siente bien actuar de manera ambientalmente responsable					
18	Cambiaría el modo de transporte que uso si ayuda al ambiente					
19	El aumento del uso de la bicicleta mejoraría la calidad del aire					
20	La contaminación ambiental es un problema del que hay que preocuparse					
21	Usar la bicicleta es bueno para el medio ambiente					
22	Usar la bicicleta es bueno para la salud					
23	Usar la bicicleta es seguro					
24	Usar la bicicleta es cómodo					
25	Usar la bicicleta es económico					
26	Usar la bicicleta es relajante					
27	Usar la bicicleta es conveniente y flexible					
28	Usaría más la bicicleta si se pone de moda					
29	Usaría más la bicicleta si existiesen más ciclovías					
30	Usaría más la bicicleta si hubiese parqueaderos exclusivos para bicicletas					
31	Usaría más la bicicleta si los índices de inseguridad bajan					
32	Usaría más la bicicleta si el clima es agradable					
33	Usaría más la bicicleta si pudiese ducharme en el destino					
34	Usaría más la bicicleta si me dieran beneficios por hacerlo (medio día libre remunerado y un pasaje de bus gratis por cada 30 veces que vaya en bicicleta)					
35	Usaría más la bicicleta si mis compañeros de trabajo/estudio también lo hacen					

### PARTE 3 – PREFERENCIAS CON RESPECTO AL CICLISMO

Analice las siguientes situaciones y elija si usted usaría la bicicleta en cada caso, tenga en cuenta que la bicicleta no genera costos de viaje.

Tiempo	Terreno	Clima	Tráfico	Ciclovía	¿Escogería la bicicleta?	
10 min 	Generalmente plano 	Fresco 	Bajo 	No hay 	Sí	No
20 min 	Con algunas inclinaciones 	Normal 	Bajo 	Demarcada en la vía 	Sí	No
30 min 	Con pendientes pronunciadas 	Caluroso 	Bajo 	Separada de la vía 	Sí	No



30 min 	Con pendientes pronunciadas 	Normal 	Medio 	Demarcada en la vía 	Sí	No
10 min 	Generalmente plano 	Caluroso 	Medio 	Separada de la vía 	Sí	No
20 min 	Con algunas inclinaciones 	Fresco 	Medio 	No hay 	Sí	No
30 min 	Con algunas inclinaciones 	Caluroso 	Alto 	No hay 	Sí	No
10 min 	Con pendientes pronunciadas 	Fresco 	Alto 	Demarcada en la vía 	Sí	No
20 min 	Generalmente plano 	Normal 	Alto 	Separada de la vía 	Sí	No

## Anexo 2. Encuesta tipo 2

# **INVESTIGACIÓN SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL USO DE LA BICICLETA POR PARTE DE LOS HABITANTES DEL DISTRITO DE BARRANQUILLA**
















































PARTE 1 – INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA						
<b>Sexo:</b> <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino		<b>Edad:</b> _____ <b>Ocupación:</b> _____ <b>Estrato:</b> _____ <b>Barrio de residencia:</b> _____				
<b>Nivel académico:</b>	<input type="checkbox"/> Primario <input type="checkbox"/> Técnico <input type="checkbox"/> Profesional <input type="checkbox"/> Sin estudios <input type="checkbox"/> Bachiller <input type="checkbox"/> Tecnólogo <input type="checkbox"/> Posgrado					
<b>Ingresos mensuales:</b>	<input type="checkbox"/> Menos de 1 millón <input type="checkbox"/> Entre 1 y 3 millones <input type="checkbox"/> Más de 3 millones					
<b>¿Cuál es el modo de transporte que usa para llegar a su trabajo/lugar de estudio?</b>						
<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Transmetro <input type="checkbox"/> Uber/Cabify <input type="checkbox"/> Buseta de servicio público <input type="checkbox"/> Moto <input type="checkbox"/> Taxi <input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> A pie <input type="checkbox"/> Ruta corporativa/empresarial <input type="checkbox"/> Otro						
<b>Su tiempo aproximado de viaje hacia su trabajo/estudio en minutos es de:</b> _____						
<b>¿Usted tiene...</b>	<b>...acceso a un auto en su hogar?</b>		<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No			
	<b>...acceso a una bicicleta en su hogar?</b>		<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No			
	<b>...licencia de conducir?</b>		<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No			
<b>¿Cuál es el principal uso que usted le da a la bicicleta?</b> _____						
<b>¿Con que frecuencia usa la bicicleta?</b>			<b>¿Con que frecuencia realiza ejercicio?</b>			
<input type="checkbox"/> Diario <input type="checkbox"/> Por lo menos una vez a la semana <input type="checkbox"/> Por lo menos una vez al mes <input type="checkbox"/> Nunca			<input type="checkbox"/> Diario <input type="checkbox"/> De 2 a 3 veces por semana <input type="checkbox"/> Una vez a la semana <input type="checkbox"/> Nunca			
PARTE 2 – EVALUACIÓN DE PERCEPCIÓN						
Valore las siguientes proposiciones teniendo en cuenta la siguiente escala: (1) Muy en desacuerdo, (2) En desacuerdo, (3) Neutral, (4) De acuerdo, (5) Muy de acuerdo						
No.	Situación	1	2	3	4	5
1	Me gusta que mi opción de viaje esté disponible inmediatamente					
2	Siempre elijo la opción de viaje que se demore menos					
3	Me preocupa por llegar temprano a mi lugar de destino					
4	Estoy atento(a) a todo a mi alrededor cuando uso la vía					
5	Usando la bicicleta me expongo más a un robo					
6	Me parece igual de seguro usar la bicicleta en vías con bajo tráfico y en vías con alto tráfico					
7	Me preocupa accidentarme mientras voy en bicicleta					
8	Prefiero viajar en bus o carro que en bicicleta o ir a pie en días lluviosos					
9	Prefiero modos de transporte con aire acondicionado					
10	Prefiero realizar menos esfuerzo físico al movilizarme					
11	Me da igual llegar sudado(a) a mi lugar de destino					
12	Me parece estresante usar la bicicleta					
13	No me importa pagar más dinero con el fin de ahorrar tiempo de viaje					
14	No me importa pagar más dinero con tal de viajar más cómodamente					
15	No le doy importancia al alza en la tarifa de los servicios de transporte					
16	Elijo cualquier opción de viaje sin importar el costo					

17	Se siente bien actuar de manera ambientalmente responsable					
18	Cambiaría el modo de transporte que uso si ayuda al ambiente					
19	El aumento del uso de la bicicleta mejoraría la calidad del aire					
20	La contaminación ambiental es un problema del que hay que preocuparse					
21	Usar la bicicleta es bueno para el medio ambiente					
22	Usar la bicicleta es bueno para la salud					
23	Usar la bicicleta es seguro					
24	Usar la bicicleta es cómodo					
25	Usar la bicicleta es económico					
26	Usar la bicicleta es relajante					
27	Usar la bicicleta es conveniente y flexible					
28	Usaría más la bicicleta si se pone de moda					
29	Usaría más la bicicleta si existiesen más ciclovías					
30	Usaría más la bicicleta si hubiese parqueaderos exclusivos para bicicletas					
31	Usaría más la bicicleta si los índices de inseguridad bajan					
32	Usaría más la bicicleta si el clima es agradable					
33	Usaría más la bicicleta si pudiese ducharme en el destino					
34	Usaría más la bicicleta si me dieran beneficios por hacerlo (medio día libre remunerado y un pasaje de bus gratis por cada 30 veces que vaya en bicicleta)					
35	Usaría más la bicicleta si mis compañeros de trabajo/estudio también lo hacen					

### PARTE 3 – PREFERENCIAS CON RESPECTO AL CICLISMO

Analice las siguientes situaciones y elija si usted usaría la bicicleta en cada caso, tenga en cuenta que la bicicleta no genera costos de viaje.

Tiempo	Terreno	Clima	Tráfico	Ciclovía	¿Escogería la bicicleta?	
10 min 	Con algunas inclinaciones 	Normal 	Bajo 	Separada de la vía 	Sí	No
20 min 	Con pendientes pronunciadas 	Caluroso 	Bajo 	No hay 	Sí	No
30 min 	Generalmente plano 	Fresco 	Bajo 	Demarcada en la vía 	Sí	No

20 min 	Con pendientes pronunciadas 	Fresco 	Medio 	Separada de la vía 	Sí	No
30 min 	Generalmente plano 	Normal 	Medio 	No hay 	Sí	No
10 min 	Con algunas inclinaciones 	Caluroso 	Medio 	Demarcada en la vía 	Sí	No
20 min 	Generalmente plano 	Caluroso 	Alto 	Demarcada en la vía 	Sí	No
30 min 	Con algunas inclinaciones 	Fresco 	Alto 	Separada de la vía 	Sí	No
10 min 	Con pendientes pronunciadas 	Normal 	Alto 	No hay 	Sí	No